



**SIMULASI MODEL PERPINDAHAN PANAS
PADA PROSES STERILISASI PENGALENGAN IKAN TUNA**

SKRIPSI

Oleh
Jatisworo Irdiati
NIM 081810101023

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**SIMULASI MODEL PERPINDAHAN PANAS
PADA PROSES STERILISASI PENGALENGAN IKAN TUNA**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh
Jatisworo Irdiati
NIM 081810101023

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibunda Hormiyati dan Ayahanda Busro tercinta, yang telah mendoakan dan memberi kasih sayang serta pengorbanan untuk putri tercintanya;
2. Adik tersayang Azmi Hanifah yang selalu menghibur dan memberi semangat baik dalam keadaan suka maupun duka.
3. guru-guru sejak saya kecil sampai sekarang, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
4. teman-teman angkatan 2008 (Maliner) yang selalu memberi semangat dan kompak dari awal kuliah sampai sekarang.
5. Almamater Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, SMA Negeri 1 Situbondo, SMP Negeri 1 Kendit, SD Negeri 1 Balung, dan TK Dharmawanita.

MOTO

“...Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum, sebelum mereka memperbaiki dirinya sendiri...”
(*Terjemahan QS. Ar-Ra'd [13]: 11*)^{*)}

“Hai orang-orang yang beriman, mintalah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan sholat; sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang sabar.”
(*Terjemahan QS. Al-Baqarah [2]: 153*)^{*)}

^{*)}Departemen Agama Republik Indonesia. 2004. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: CV Penerbit J-ART.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

nama : Jatisworo Irdiati

NIM : 081810101023

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul “Simulasi Model Perpindahan Panas pada Proses Sterilisasi Pengalengan Ikan Tuna” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Februari 2013

Yang menyatakan,

Jatisworo Irdiati
NIM 081810101023

SKRIPSI

**SIMULASI MODEL PERPINDAHAN PANAS
PADA PROSES STERILISASI PENGALENGAN IKAN TUNA**

Oleh

Jatisworo Irdiati
NIM 081810101023

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Kusbudiono, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Simulasi Model Perpindahan Panas pada Proses Sterilisasi Pengalengan Ikan Tuna” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal :

tempat : Fakultas MIPA Universitas Jember

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.
NIP 196610121993031001

Kusbudiono, S.Si., M.Si.
NIP 197704302005011001

Penguji I,

Penguji II,

Prof. Drs. I Made Tirta, M.Sc., Ph.D.
NIP 195912201985031002

Kiswara Agung Santoso, S.Si., M.Kom.
NIP 197209071998031003

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph.D.
NIP 196101081986021001

RINGKASAN

Simulasi Model Perpindahan Panas pada Proses Sterilisasi Pengalengan Ikan Tuna; Jatisworo Irdiati, 081810101023; 2013: 44 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Sterilisasi adalah proses pemanasan (*thermal*) atau cara memanaskan sampai mencapai suhu diatas titik didih (100°C) untuk mematikan semua mikroorganisme. Sterilisasi yang dilakukan pada saat pengalengan ikan Tuna bertujuan untuk memberikan penentuan jaminan keamanan bahan makanan dan mempertimbangkan mutu akhir dari produk, bukan semata-mata untuk membunuh mikroba, tetapi juga harus meminimalkan kerusakan mutu yang disebabkan oleh pemanasan yang berlebih. Pada penelitian ini dikaji bagaimana profil perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna jika parameter yang mempengaruhi perpindahan panas divariasikan. Parameter tersebut meliputi bahan kaleng yang digunakan, jari-jari kaleng, dan temperatur penyeteril. Hasil penelitian diharapkan dapat mengetahui nilai-nilai sifat fisik pada perpindahan panas yang berpengaruh terhadap proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam pemilihan bahan dan ukuran kaleng serta temperatur yang akan digunakan.

Penelitian dilakukan dalam beberapa langkah. Langkah pertama yaitu identifikasi parameter. Penentuan nilai parameter diambil dari beberapa literatur yang berhubungan dengan proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna. Langkah kedua yaitu pembuatan program dengan bantuan *software* MATLAB 7.8 (R2009a). Langkah ketiga yaitu melakukan simulasi parameter. Simulasi dilakukan dengan cara memasukkan nilai parameter yang telah ditentukan sebelumnya, dimana nilai jari-jari kaleng, temperatur penyeteril dan bahan kaleng yang digunakan divariasikan. Langkah terakhir yaitu menganalisis *output* dari hasil simulasi parameter.

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, didapatkan profil dari masing-masing ketiga jenis bahan kaleng yang digunakan. Secara umum jenis bahan *Zinc* mempunyai laju perpindahan panas yang paling cepat, sedangkan jenis bahan *Aluminium* mempunyai laju perpindahan panas yang paling lambat. Dilihat dari temperatur penyeteril ($T_{ambient}$), jenis bahan kaleng *Tin* mempunyai laju perpindahan panas yang cepat apabila dipanaskan dengan temperatur 126,6 °C untuk jari-jari 0,03 meter, 0,04 meter, dan 0,07 meter, sedangkan untuk jari-jari 0,05 meter mempunyai laju perpindahan panas yang cepat apabila dipanaskan dengan temperatur 115,5 °C. Untuk jenis bahan *Aluminium* mempunyai laju perpindahan panas yang cepat apabila dipanaskan dengan temperatur 115,5 °C pada jari-jari 0,04 meter, dan 0,07 meter, serta 126,6 °C pada jari-jari 0,03 meter dan 0,05 meter. Untuk jenis bahan *Zinc*, laju perpindahan panas yang cepat terjadi apabila dipanaskan dengan temperatur 126,6 °C untuk jari-jari 0,04 meter, dan 0,05 meter, serta 121,1 °C pada jari-jari 0,07 meter sedangkan untuk jari-jari 0,03 meter, laju perpindahan panas tercepat terjadi pada temperatur 121,1 °C dan 126,6 °C. Dilihat dari ukuran jari-jari kaleng, semakin besar ukuran kaleng yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk sterilisasi semakin lama.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Simulasi Model Perpindahan Panas pada Proses Sterilisasi Pengalengan Ikan Tuna”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Dalam penyelesaian karya tulis ilmiah ini, penulis tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Rusli Hidayat, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Kusbudiono, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Prof. Drs. I Made Tirta, M.Sc., Ph.D., dan Bapak Kiswara Agung Santoso, S.Si., M.Kom., selaku Dosen Penguji yang telah memberi masukan dalam penyusunan skripsi ini;
3. Ibu Ika Hesti Agustin, S.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
4. semua keluarga di rumah, ayah, ibu, mbah kung, buyut, adek Hani, abang Chandra dan om Yuyut yang telah memberi dorongan dan doanya demi terselesaikannya skripsi ini;
5. teman-teman 5 sekawan (Hafida, abang Tayik, Vanti, dan Imas) yang telah menghibur dan memberi semangat penulis dalam mengerjakan skripsi ini;
6. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jember, Februari 2013

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | ii |
| HALAMAN MOTO | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN PEMBIMBINGAN | v |
| HALAMAN PENGESAHAN | vi |
| RINGKASAN | vii |
| PRAKATA | ix |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Batasan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan | 5 |
| 1.5 Manfaat | 5 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Persamaan Diferensial Parsial | 6 |
| 2.2 Metode Beda Hingga | 7 |
| 2.3 Skema Beda Hingga | 9 |
| 2.3.1 Skema Eksplisit..... | 10 |
| 2.3.2 Skema Implisit | 11 |
| 2.3.3 Skema Crank-Nicholson | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.3.4 Skema Metode- θ | 13 |
| 2.4 Perpindahan Panas | 14 |
| 2.4.1 Konduksi atau Hantaran..... | 15 |
| 2.4.2 Konveksi | 15 |
| 2.4.3 Radiasi atau Pancaran | 15 |
| 2.5 Hukum Fourier tentang Konduksi Panas | 16 |
| 2.6 Persamaan Panas pada Silinder | 18 |
| 2.7 Syarat Sterilisasi | 22 |
| 2.8 Proses Sterilisasi Pengalengan Ikan Tuna | 23 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN | 27 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 29 |
| 4.1 Identifikasi Parameter | 29 |
| 4.2 Diskritisasi Syarat Batas <i>Interface</i> | 30 |
| 4.3 Model Diskrit dan Persamaan Matrik | 32 |
| 4.3.1 Model Diskrit | 32 |
| 4.3.2 Persamaan Matrik | 32 |
| 4.4 Pembuatan Program..... | 34 |
| 4.5 Simulasi Program..... | 35 |
| 4.6 Analisis Hasil | 38 |
| BAB 5. PENUTUP | 41 |
| 5.1 Kesimpulan | 41 |
| 5.2 Saran | 42 |
| DAFTAR PUSTAKA | 43 |
| LAMPIRAN | 45 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Skema Eksplisit pada Persamaan Perambatan Panas | 10 |
| Gambar 2.2 Skema Implisit pada Persamaan Perambatan Panas | 11 |
| Gambar 2.3 Skema Metode- θ | 14 |
| Gambar 2.4 Konduksi Panas pada Dinding dengan ketebalan Δx dan Luas Daerah A | 16 |
| Gambar 2.5 Konduksi Panas pada Dinding Rangkap | 16 |
| Gambar 2.6 Konduksi Panas pada Dinding dengan ketebalan $2\Delta x$ dan Luas Daerah A | 17 |
| Gambar 2.7 Sketsa yang Melukiskan Konvensi tentang Tanda untuk Aliran Panas Konduksi | 18 |
| Gambar 2.8 Skema dari Syarat Batas di Pusat | 19 |
| Gambar 2.9 Ilustrasi tentang Aliran Panas pada <i>Interface</i> | 20 |
| Gambar 2.10 Skema tentang Perpindahan Panas pada Permukaan Luar | 21 |
| Gambar 2.11 Skema Proses Pengalengan Ikan Tuna | 24 |
| Gambar 3.1 Skema Metode Penelitian | 27 |
| Gambar 4.1 Tampilan GUI Program Simulasi Model Perpindahan Panas pada Proses Sterilisasi Pengalengan Ikan Tuna | 35 |
| Gambar 4.2 Hasil Perhitungan dengan Menggunakan MATLAB | 36 |
| Gambar 4.3 Ilustrasi Distribusi Panas dengan Waktu Pengamatan selama 4 Menit | 38 |
| Gambar 4.4 Grafik Hasil Simulasi Program Perambatan Panas untuk Mencapai Pusat Kaleng | 39 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|---|---------|
| A. Hasil simulasi program perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna | 45 |
| A1. Grafik distribusi panas menuju pusat kaleng pada temperatur 115,5 °C dengan jari-jari 0,03 meter | 45 |
| A2. Grafik distribusi panas menuju pusat kaleng pada temperatur 115,5 °C dengan jari-jari 0,04 meter | 46 |
| A3. Grafik pergerakan panas menuju pusat kaleng pada temperatur 115,5 °C dengan jari-jari 0,05 meter | 47 |
| A4. Grafik pergerakan panas menuju pusat kaleng pada temperatur 115,5 °C dengan jari-jari 0,07 meter | 48 |
| B. <i>Flowchart</i> program simulasi perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna | 49 |
| C. <i>Script</i> program MATLAB yang digunakan untuk menyelesaikan simulasi model perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna | 55 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada umumnya permasalahan yang terjadi di bidang industri yaitu kesulitan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh perusahaan selama operasional pada suhu tertentu dengan harapan kualitas dan mutu tetap terjamin. Hal ini dilakukan dengan tujuan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan selama operasional dapat diminimumkan. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pengendalian waktu selama operasional yaitu jenis bahan yang digunakan. Sedangkan permasalahan yang sering terjadi di bidang matematika yaitu kesulitan untuk membawa permasalahan yang terjadi di bidang industri ke dalam bentuk persamaan matematika, terutama pada beberapa kasus tertentu yang harus memperhatikan syarat awal dan syarat batas agar dapat diselesaikan menggunakan metode matematika.

Dalam bidang industri sering dijumpai hal-hal yang berhubungan dengan perpindahan panas. Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan proses perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Hal ini mengindikasikan bahwa perpindahan panas tidak hanya menjelaskan perpindahan energi panas dari suatu benda ke benda lainnya, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu (Holman, 1994). Salah satu masalah yang bisa diselesaikan dengan ilmu perpindahan panas yaitu proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna.

Pemanasan yang digunakan pada saat sterilisasi makanan kaleng ada dua macam, yaitu pemanasan dengan suhu rendah (pasteurisasi) dan pemanasan dengan suhu tinggi. Pasteurisasi umumnya dilakukan dengan suhu dibawah 100°C , misalnya pada produk susu sedangkan pemanasan dengan suhu tinggi, dilakukan diatas 100°C misalnya 121°C selama 15 menit. Pemanasan dengan suhu tinggi diterapkan pada sebagian besar makanan-makanan di dalam kaleng atau botol. Sterilisasi pada proses

pengalengan ikan Tuna merupakan salah satu contoh yang menggunakan pemanasan dengan suhu tinggi. Lamanya pemanasan untuk sterilisasi tergantung pada besarnya kaleng yang digunakan dan kecepatan perambatan panas dari makanan tersebut. Secara umum kaleng yang sering digunakan berbentuk silinder. Kaleng dipilih sebagai kemasan makanan karena sifatnya yang kedap udara, relatif ringan, mudah dibentuk, dan tidak mudah pecah.

Sterilisasi adalah proses pemanasan (*thermal*) atau cara memanaskan sampai mencapai suhu diatas titik didih (100°C) untuk mematikan semua mikroorganisme beserta spora-sporanya. Semua makanan kaleng umumnya diberi perlakuan panas hingga tercapai keadaan steril komersial, yaitu tingkat kesterilan dimana semua mikroorganisme, baik mikroorganisme patogen, nonpatogen, pembusuk, pembentuk toksin serta mikroorganisme yang dapat tumbuh dan menyebabkan kerusakan bahan pangan telah mati.

Sterilisasi yang dilakukan pada saat pengalengan ikan Tuna bertujuan untuk memberikan penentuan jaminan keamanan bahan makanan. Jaminan ini meliputi jumlah kandungan gizi dan nutrisi yang ada dalam makanan, rusak tidaknya kualitas makanan, dan tepat atau tidaknya tanggal kadaluarsa yang tercantum pada label. Selain itu, proses sterilisasi makanan kaleng yang diberikan juga bertujuan untuk mempertimbangkan mutu akhir dari produk, bukan semata-mata untuk membunuh mikroba, tetapi juga harus meminimalkan kerusakan mutu yang disebabkan oleh pemanasan yang berlebih. Untuk memperoleh hasil pemanasan yang baik selama proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna perlu pengontrolan terhadap nilai-nilai kritis, seperti temperatur dan jari-jari kaleng yang digunakan, sehingga dibutuhkan pengetahuan tentang perubahan temperatur pada titik yang paling lambat menerima panas seperti pada bagian pusat kaleng. Dengan demikian, dibutuhkan suatu profil perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna.

Tingkat penetrasi panas ke dalam makanan harus diketahui untuk memperhitungkan panas yang dibutuhkan dalam proses sterilisasi. Semua bagian

dalam kaleng beserta produknya harus menerima panas yang cukup. Panas dapat berpenetrasi dengan cara konduksi (perpindahan panas dengan media penghantar panas tetap), konveksi (perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida dengan media penghantar berupa fluida) atau kombinasi keduanya. Di dalam pengalengan makanan biasanya perambatan panas berjalan secara konveksi atau konduksi. Makanan kaleng atau bahan yang dipanaskan terdapat tempat (titik) yang paling lambat menerima panas yang disebut *cold point*. Perambatan panas secara konduksi *cold point*-nya terdapat di tengah atau pusat bahan tersebut, sedangkan konveksi *cold point*-nya terletak di bawah atau di atas pusat, yaitu kira-kira $\frac{1}{4}$ bagian atas atau bawah sumbu. Perambatan panas secara konveksi jauh lebih cepat daripada perambatan panas secara konduksi (Adawyah, 2011). Perambatan panas yang terjadi pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna yaitu perambatan panas secara konduksi.

Ardian (2010) telah mengkaji analisa persamaan panas dan nilai sterilisasi pada proses sterilisasi makanan kaleng. Dalam kajian tersebut, didapatkan model proses perambatan panas pada proses sterilisasi makanan kaleng yang berbentuk tabung yang dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial orde dua dan persamaan matematik dari pertumbuhan mikroorganisme pada makanan kaleng. Namun, pada hasil penelitian Ardian hanya dituliskan model perambatan panas untuk semua jenis makanan kaleng dengan menganggap konstanta penghamburan panas konstan.

Nurilmaulidi (2012) telah mengkaji model dan simulasi perpindahan panas karburisasi (*carburizing*) pada proses transmisi berbentuk silinder pejal. Dalam kajian tersebut, diperoleh model diskrit dari persamaan silinder pejal dan waktu minimum untuk melakukan *holding time* proses perpindahan panas poros transmisi pada *pack carburizing* dari masing-masing bahan poros dengan radius dan temperatur lingkungan yang berbeda.

Pada penjelasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna perlu pengontrolan terhadap nilai-nilai kritis selama

pemanasan berlangsung. Ardian (2010) mendapatkan model proses perambatan panas pada proses sterilisasi makanan kaleng namun belum diujicobakan pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna. Dari uraian tersebut menarik untuk dikaji tentang simulasi model perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna, sehingga dari simulasi tersebut dapat diketahui profil perpindahan panas yang bermanfaat dalam proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna. Model perpindahan panas yang terjadi pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna yang akan digunakan dalam skripsi ini yaitu model diskrit dari persamaan silinder pejal yang telah diperoleh oleh Nurilmaulidi (2012).

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah bagaimana profil perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna jika parameter yang mempengaruhi perpindahan panas disimulasi. Parameter yang akan disimulasi yaitu bahan kaleng yang digunakan, jari-jari kaleng, dan temperatur penyeteril.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Kaleng dan isinya diasumsikan sebagai silinder pejal dengan radius r dan panjang L ;
- b. Perpindahan panas adalah satu dimensi dalam radial;
- c. Sifat fisik saus dan ikan dianggap homogen;
- d. Sifat fisik bahan kaleng dan pelapis kaleng dianggap homogen;
- e. Sifat-sifat termal selama proses pemanasan adalah konstan;
- f. Temperatur pada permukaan kaleng sesuai dengan yang dibutuhkan;
- g. Antara kaleng dan isinya dipandang sebagai lapisan yang berbeda sifat fisiknya;
- h. Tekanan selama proses sterilisasi adalah konstan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini yaitu untuk mendapatkan profil perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna melalui simulasi parameter yang mempengaruhi perpindahan panas.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dalam penulisan skripsi ini yaitu mendapatkan nilai-nilai sifat fisik pada perpindahan panas yang berpengaruh terhadap proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dibahas mengenai dasar-dasar teori yang digunakan untuk mengetahui kecepatan perambatan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna. Dasar-dasar teori tersebut meliputi persamaan diferensial parsial, metode beda hingga, skema beda hingga, perpindahan panas, hukum fourier tentang konduksi panas, persamaan panas pada silinder, syarat sterilisasi, dan proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna.

2.1 Persamaan Diferensial Parsial

Persamaan diferensial parsial adalah suatu persamaan yang memuat satu atau lebih turunan-turunan parsial. Turunan parsial dinotasikan dengan subskrip sebagai berikut:

$$u_x = \frac{\partial u}{\partial x}, u_{xx} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, u_{xy} = \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}.$$

Sebagai contoh sederhana dari persamaan diferensial parsial dapat dilihat pada persamaan (2.1) dimana $u = u(x, y)$ adalah suatu fungsi dengan dua peubah bebas x dan y , dan c adalah suatu konstanta.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = cu \tag{2.1}$$

Berdasarkan sifat kelinieran, persamaan diferensial parsial diklasifikasikan menjadi dua, yaitu linier dan nonlinier. Suatu persamaan diferensial parsial dalam u disebut linier jika semua suku-suku dari u dan turunan-turunannya dapat dinyatakan sebagai suatu kombinasi linier dengan koefisien-koefisien yang bebas dari u . Dalam suatu persamaan diferensial parsial linier, koefisien-koefisiennya bisa tergantung kepada peubah-peubah bebas. Misalnya suatu persamaan diferensial parsial linier

tingkat dua dengan dua peubah bebas seperti yang diberikan oleh persamaan berikut ini.

$$Au_{xx} + Bu_{xy} + Cu_{yy} + Du_x + Eu_y + Fu = G \quad (2.2)$$

Pada persamaan (2.2) A, B, C, D, E, F, dan G adalah konstanta-konstanta atau fungsi-fungsi dari variabel x dan y yang diberikan (Hidayat, 2006).

Berdasarkan persamaan (2.2), persamaan diferensial parsial dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu:

- a. persamaan Ellips jika $B^2 - 4AC < 0$,
- b. persamaan Parabola jika $B^2 - 4AC = 0$, dan
- c. persamaan Hiperbola jika $B^2 - 4AC > 0$.

Persamaan ellips biasanya berhubungan dengan masalah keseimbangan atau kondisi permanen (tidak tergantung waktu) dan penyelesaiannya memerlukan kondisi batas di sekeliling daerah tinjauan. Persamaan parabola biasanya merupakan persamaan yang tergantung pada waktu (tidak permanen) dan penyelesaiannya memerlukan kondisi awal dan batas. Persamaan hiperbola biasanya berhubungan dengan getaran atau permasalahan dimana terjadi ketidak-kontinyuan (*discontinue*) dalam waktu (Triatmodjo, 2002).

2.2 Metode Beda Hingga

Metode beda hingga merupakan salah satu metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan persamaan diferensial parsial. Untuk menyelesaikan persamaan tersebut, metode beda hingga memanfaatkan deret Taylor dengan cara mengaproksimasi atau melalui pendekatan turunan-turunan persamaan diferensial parsial menjadi sistem persamaan linier.

Suatu fungsi dari variabel f dan dapat didiferensialkan sampai n kali dalam interval $[x_0 - h, x_0 + h]$ dimana h cukup kecil, berdasarkan deret Taylor dapat diuraikan sebagai berikut:

$$f(x_0 + h) = f(x_0) + hf'(x_0) + \frac{h^2}{2!} f''(x_0) + \dots \quad (2.3)$$

$$f(x_0 - h) = f(x_0) - hf'(x_0) + \frac{h^2}{2!} f''(x_0) - \dots \quad (2.4)$$

$$f(x_0 + h) - f(x_0 - h) = 2hf'(x_0) + 2f'''(x_0) \frac{h^3}{3!} + \dots \quad (2.5)$$

Persamaan (2.3), (2.4), dan (2.5) diatur kembali, dimana $f'(x_0) = \frac{\partial f(x_0)}{\partial x}$ sehingga diperoleh:

$$\frac{\partial f(x_0)}{\partial x} = \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h} - \frac{h}{2!} \frac{\partial^2(x_0)}{\partial(x_0)^2} - \dots \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial f(x_0)}{\partial x} = \frac{f(x_0) - f(x_0 - h)}{h} + \frac{h}{2!} \frac{\partial^2(x_0)}{\partial(x_0)^2} - \dots \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial f(x_0)}{\partial x} = \frac{f(x_0 + h) - f(x_0 - h)}{2h} - \frac{h^2}{3!} \frac{\partial^3(x_0)}{\partial(x_0)^3} - \dots \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.6), (2.7), dan (2.8) dibuat harga pendekatan turunan pertama $f(x)$ dititik x_0 , yaitu:

$$\frac{\partial f(x_0)}{\partial x} \approx \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h}, \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial f(x_0)}{\partial x} \approx \frac{f(x_0) - f(x_0 - h)}{h}, \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial f(x_0)}{\partial x} \approx \frac{f(x_0 + h) - f(x_0 - h)}{2h}.$$

Jika sumbu x dibagi kedalam beberapa interval $\Delta x = h$ yang panjangnya sama, maka absis titik kisi i dapat ditulis dalam bentuk $x_i = i\Delta x = ih$ sehingga bentuk pendekatan turunan pertama di titik kisi i menjadi:

1. pendekatan beda maju

$$\frac{\partial f(x_i)}{\partial x} \approx \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x},$$

2. pendekatan beda mundur

$$\frac{\partial f(x_i)}{\partial x} \approx \frac{f_i - f_{i-1}}{\Delta x},$$

3. pendekatan beda pusat

$$\frac{\partial f(x_i)}{\partial x} \approx \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\Delta x}.$$

Bentuk pendekatan turunan kedua diperoleh dengan menjumlahkan persamaan (2.9) dengan persamaan (2.10), yaitu:

$$\frac{\partial^2 f(x_i)}{\partial x^2} \approx \frac{f_{i-1} - 2f_i + f_{i+1}}{\Delta x^2},$$

dengan $f_i = f(x_i)$, $x_i = i\Delta x = ih$, $i = 1, 2, \dots, N$ (Ardian, Tanpa Tahun).

2.3 Skema Beda Hingga

Untuk mempelajari skema beda hingga, misal diberikan persamaan parabola yaitu persamaan perambatan panas satu dimensi, sebagai berikut:

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L, \quad (2.11)$$

dengan syarat awal:

$$T(x, t) = a_0(x), \quad 0 < x < L,$$

dan syarat batas:

$$T(0, t) = b_0(t), \quad t < 0,$$

$$T(L, t) = b_L(t), \quad t < 0$$

(Yang, 2005).

Untuk menyelesaikan sistem persamaan diatas dengan skema beda hingga akan dihitung nilai pendekatan T (temperatur) pada jaringan titik (x_i, t_k) dengan domain komputasi didiskritkan baik pada arah x maupun arah t sebagai berikut:

$$t_k = k \Delta t, \quad t \geq 0$$

$$x_i = i \Delta x, \quad 0 \leq i \leq n$$

dimana n adalah banyaknya *grid*.

2.3.1 Skema Eksplisit

Pada skema Eksplisit, variabel pada waktu $k + 1$ dihitung berdasarkan variabel pada waktu k yang sudah diketahui. Dengan menggunakan skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, fungsi variabel (temperatur) $T(x,t)$ dan turunannya dalam ruang dan waktu didekati oleh bentuk berikut:

$$\begin{aligned} T(x, t) &\approx T_i^k \\ \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} &\approx \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \\ \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial^2 x} &\approx \frac{T_{i+1}^k - 2T_i^k + T_{i-1}^k}{\Delta x^2} \end{aligned} \quad (2.12)$$

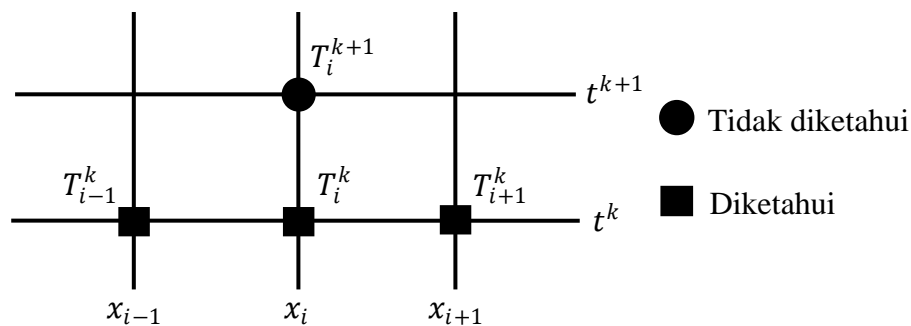
Dengan menggunakan skema eksplisit dan menganggap bahwa K konstan, maka persamaan (2.11) menjadi sebagai berikut:

$$\frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \approx K \left(\frac{T_{i+1}^k - 2T_i^k + T_{i-1}^k}{\Delta x^2} \right)$$

atau

$$T_i^{k+1} \approx T_i^k + K \nu (T_{i+1}^k - 2T_i^k + T_{i-1}^k)$$

dimana $\nu = \frac{\Delta t}{\Delta x^2}$



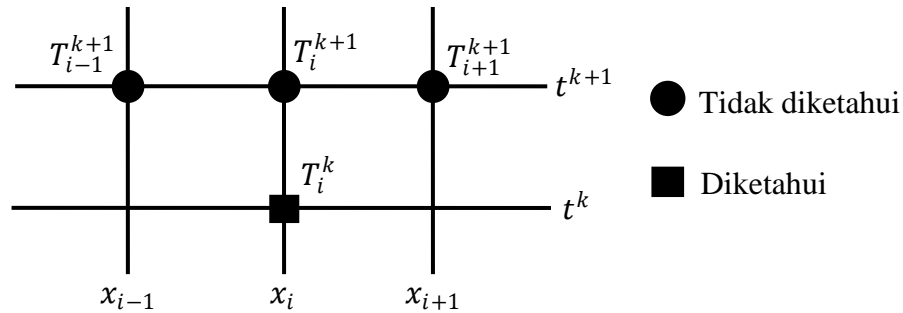
Gambar 2.1 Skema Eksplisit pada Persamaan Perambatan Panas

Dari Gambar 2.1 jarak antara titik jaringan (*grid point*) adalah $\Delta x = L/n$, dengan n adalah jumlah *grid*, sedangkan interval waktu hitungan adalah Δt . Nilai T_i^{k+1} dapat diperoleh secara eksplisit dari nilai sebelumnya, yaitu T_{i-1}^k , T_i^k ,

T_{i+1}^k . Dengan nilai k yang sudah diketahui, memungkinkan untuk menghitung T_i^{k+1} ($i = 1, 2, \dots, n - 1$). Kondisi perhitungan pada metode eksplisit akan stabil jika $0 < \nu < \frac{1}{2}$. Skema eksplisit memberikan hasil yang baik apabila langkah waktu Δt yang cukup kecil. Apabila Δt besar, penyelesaian dari persamaan (2.11) menjadi tidak stabil. Keterbatasan ini menyebabkan metode eksplisit kurang disukai, karena diperlukan waktu hitungan yang lebih lama.

2.3.2 Skema Implisit

Pada skema eksplisit, ruas kanan ditulis pada waktu k yang sudah diketahui nilainya, akan tetapi pada skema implisit ruas kanan ditulis pada waktu $k + 1$ yang tidak diketahui nilainya. Gambar 2.2 merupakan jaringan titik hitung pada skema implisit, dimana turunannya didekati sebuah waktu pada saat $k + 1$.



Gambar 2.2 Skema Implisit pada Persamaan Perambatan Panas

Dari Gambar 2.2, fungsi $T(x, t)$ dan turunannya didekati oleh bentuk berikut:

$$\begin{aligned}
 T(x, t) &\approx T_i^k \\
 \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} &\approx \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \\
 \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial^2 x} &\approx \frac{T_{i+1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i-1}^{k+1}}{\Delta x^2}
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

Sehingga persamaan (2.11) dapat ditulis dalam bentuk beda hingga menjadi:

$$\frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \approx K \left(\frac{T_{i+1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i-1}^{k+1}}{\Delta x^2} \right)$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\Delta t} T_i^{k+1} - \frac{K}{\Delta x^2} T_{i-1}^{k+1} + \frac{2K}{\Delta x^2} T_i^{k+1} - \frac{K}{\Delta x^2} T_{i+1}^{k+1} &\approx \frac{1}{\Delta t} T_i^k \\
-\frac{K}{\Delta x^2} T_{i-1}^{k+1} + \left(\frac{1}{\Delta t} + \frac{2K}{\Delta x^2} \right) T_i^{k+1} - \frac{K}{\Delta x^2} T_{i+1}^{k+1} &\approx \frac{1}{\Delta t} T_i^k \\
-vKT_{i-1}^{k+1} + (1 + 2vK)T_i^{k+1} - vKT_{i+1}^{k+1} &\approx T_i^k
\end{aligned}$$

dimana $v = \frac{\Delta t}{\Delta x^2}$

Dengan memberikan nilai $i = 1, 2, \dots, (n - 1)$, kita peroleh persamaan linier $n - 1$ yang dapat diselesaikan dengan metode matrik. Penyelesaian dengan menggunakan skema implisit lebih sulit dibandingkan dengan skema eksplisit. Kelebihan dari skema implisit adalah stabil tanpa syarat, langkah waktu Δt dapat diambil sembarang (besar) tanpa menimbulkan ketidakstabilan. Pembatasan Δt hanya untuk menjaga kesalahan pemotongan (*truncation error*) dalam batas-batas yang dapat diterima.

2.4.3 Skema Crank-Nicholson

Skema Crank-Nicholson merupakan pengembangan dari skema eksplisit dan skema implisit. Pada skema eksplisit, pendekatan solusi $c(x_i, t_{k+1})$ dihitung menggunakan jaringan titik (x_i, t_k) . Sedangkan pada skema implisit pendekatan solusi $c(x_i, t_k)$ dihitung menggunakan jaringan titik (x_i, t_{k+1}) , pada skema Crank-Nicholson pendekatan solusi $c(x_i, t_{k+1})$ akan dihitung menggunakan jaringan titik (x_i, t_k) dan jaringan titik (x_i, t_{k+1}) yang artinya, diferensial terhadap waktu ditulis pada $k + 1/2$. Sehingga skema diferensial persamaan (2.11) terhadap waktu adalah:

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} \approx \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t}.$$

Skema Crank-Nicholson menulis ruas kanan dari persamaan (2.11) pada waktu $k + 1/2$, yang artinya merupakan nilai rerata dari skema Eksplisit dan Implisit. Berdasarkan pada skema Eksplisit pada persamaan perambatan panas diatas, skema diferensial kedua terhadap x yang digunakan adalah persamaan (2.12), sedangkan

untuk skema Implisit yang digunakan adalah persamaan (2.13). Sehingga skema Crank-Nicholson untuk diferensial kedua terhadap x adalah:

$$\frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial^2 x} \approx \frac{1}{2} \left(\frac{T_{i+1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i-1}^{k+1}}{\Delta x^2} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{T_{i+1}^k - 2T_i^k + T_{i-1}^k}{\Delta x^2} \right).$$

Dengan menggunakan skema Crank-Nicholson, persamaan (2.11) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \approx K \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{T_{i+1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i-1}^{k+1}}{\Delta x^2} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{T_{i+1}^k - 2T_i^k + T_{i-1}^k}{\Delta x^2} \right) \right\}$$

atau

$$\frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \approx \frac{1}{2} K \left(\frac{T_{i+1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i-1}^{k+1}}{\Delta x^2} + \frac{T_{i+1}^k - 2T_i^k + T_{i-1}^k}{\Delta x^2} \right)$$

2.3.4 Skema Metode- θ

Dalam skema Crank-Nicholson, kita artikan aproksimasi beda hingga pada derivatif waktu sebagai beda pusat pada titik tengah interval waktu. Dalam metode- θ , kita membuat pernyataan lebih umum dengan mengartikan aproksimasi ini untuk penerapan pada beberapa titik yang lain dalam interval waktu.

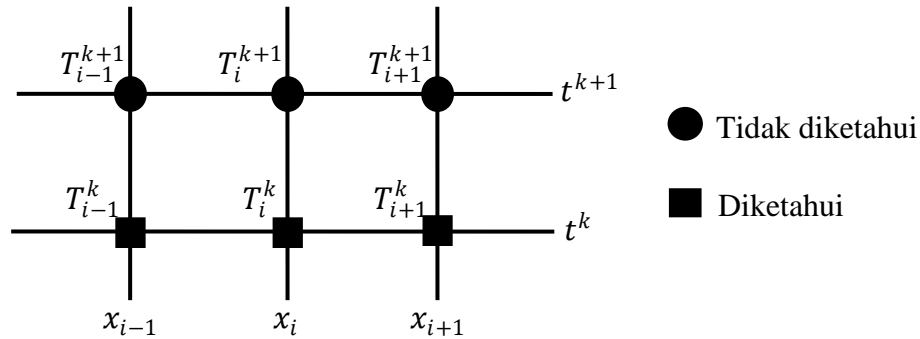
Sekarang kita anggap dua metode beda hingga, yang mana berbeda hanya dalam satu aproksimasi kedua jarak derivatif dengan tiga titik pada level waktu yang lama, yaitu t_k , dan yang lainnya menggunakan tiga titik pada level waktu yang baru, t_{k+1} . Secara umum aproksimasi dengan metode- θ menggunakan keenam titik ini. Ini dapat dianggap bahwa kita mengambil rata-rata terbobot (*weighted*) pada dua formula. Bila waktu beda (*difference*) pada sisi kiri sama, kita dapatkan skema enam titik (Gambar 2.3).

Skema metode- θ dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \approx \theta \left(\frac{T_{i+1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i-1}^{k+1}}{\Delta x^2} \right) + (1 - \theta) \left(\frac{T_{i+1}^k - 2T_i^k + T_{i-1}^k}{\Delta x^2} \right)$$

$$T_i^{k+1} - T_i^k \approx \nu [\theta (T_{i+1}^{k+1} - 2T_i^{k+1} + T_{i-1}^{k+1}) + (1 - \theta) (T_{i+1}^k - 2T_i^k + T_{i-1}^k)]$$

dimana $\nu = \frac{\Delta t}{\Delta x^2}$



Gambar 2.3 Skema Metode- θ

Kestabilan metode- θ dapat dinyatakan sebagai berikut:

- (a) $0 \leq \theta \leq \frac{1}{2}$, stabil jika dan hanya jika $\nu \leq \frac{1}{2}(1 - 2\theta)^{-1}$
- (b) $\frac{1}{2} \leq \theta \leq 1$, stabil untuk semua nilai ν

Kelebihan dari skema ini adalah untuk nilai Δx tertentu kesalahan pemotongan pada suku dalam Δt adalah lebih kecil daripada dalam skema eksplisit dan implisit (Hidayat & Pradjaningsih, 2002).

2.4 Perpindahan Panas

Panas adalah suatu bentuk energi yang berpindah dari suatu badan (sistem) ke badan yang lain (sistem atau sekitarnya). Jadi panas dapat pindah melewati batas suatu sistem, menuju atau dari sistem. Perpindahan panas ini terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara sistem dan sekitarnya (Hidayat, 2006). Perpindahan panas mengenal tiga cara pemindahan yang berbeda yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.4.1 Konduksi atau Hantaran

Konduksi adalah proses perpindahan panas dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah dengan media penghantar panas tetap. Laju perpindahan panas dengan cara konduksi dapat dihitung dengan hubungan

$$q = -kA \frac{dT}{dx},$$

dengan q : laju perpindahan panas (w),

k : konduktivitas termal bahan ($w/m^{\circ}C$),

A : luas permukaan dimana panas mengalir (m^2), dan

dT/dx : gradien suhu pada penampang, atau laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x ($^{\circ}C/m$).

2.4.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas). Laju perpindahan panas dengan cara konveksi dapat dihitung dengan hubungan

$$q = hA(\Delta T),$$

dengan h : koefisien perpindahan panas konveksi ($w/m^2^{\circ}C$), dan

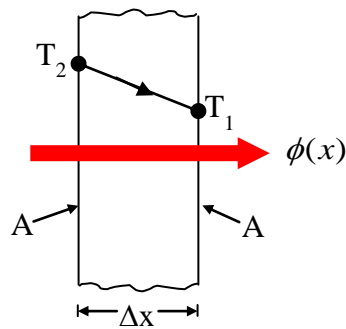
ΔT : perubahan atau perbedaan suhu antara suhu permukaan T_s dan suhu fluida T_{∞} di lokasi yang ditentukan (biasanya jauh dari permukaan) ($^{\circ}C$; $^{\circ}F$).

2.4.3 Radiasi atau Pancaran.

Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektro-magnetik, tanpa memerlukan media perantara.

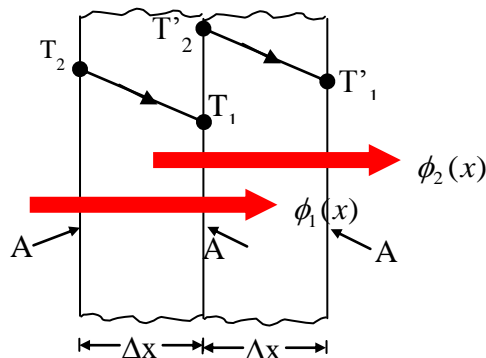
2.5 Hukum Fourier tentang Konduksi Panas

Perpindahan panas dengan cara konduksi, dalam keadaan *steady*, melewati dinding dengan ketebalan $\Delta x = L$ dan luas permukaan A , seperti terlihat pada Gambar 2.4. Perubahan temperatur yang melalui dinding adalah $\Delta T = T_2 - T_1$ (Çengel, 1998). Pengertian *steady* adalah bila laju aliran panas dalam suatu sistem tidak berubah dengan waktu, yaitu laju tersebut konstan, maka suhu di titik manapun tidak berubah (Kreith, 1997).



Gambar 2.4 Konduksi Panas pada Dinding dengan Ketebalan Δx dan Luas Daerah A

Rata-rata perpindahan panas $\phi(x)$ yang melalui dinding rangkap dengan perubahan temperatur ΔT dan luas permukaan A dengan arah perpindahan panas normal, seperti pada Gambar 2.5, maka laju konduksi panas $\phi(x)$ yang menembus dinding adalah dua kalinya.

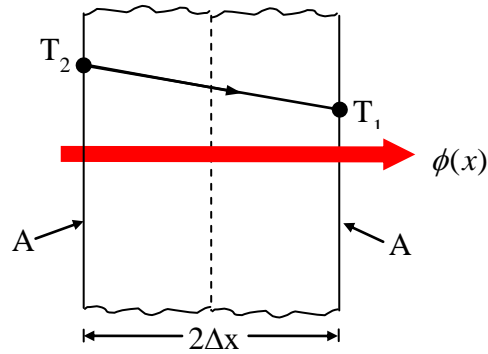


Gambar 2.5 Konduksi Panas pada Dinding Rangkap

Atau secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\phi(x)_{\text{Total}} = \phi_1(x) + \phi_2(x)$$

Akan tetapi, laju konduksi panas $\phi(x)$ adalah setengahnya jika ketebalan dinding L dua kalinya ($L = 2\Delta x$) seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Konduksi Panas pada Dinding dengan Ketebalan $2\Delta x$ dan Luas Daerah A

Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\phi(x)_{\text{Total}} = \frac{\phi(x)}{2}$$

Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa laju konduksi panas yang melalui permukaan bidang berbanding lurus linier dengan perubahan temperatur yang melewati lapisan dan daerah perpindahan panas, tetapi berbanding terbalik dengan ketebalan dinding. Secara matematis diformulasikan oleh persamaan berikut:

$$\text{Laju Konduksi Panas} \approx \frac{(\text{Luas Daerah}) (\text{Perubahan Temperatur})}{\text{Ketebalan Dinding}}$$

atau

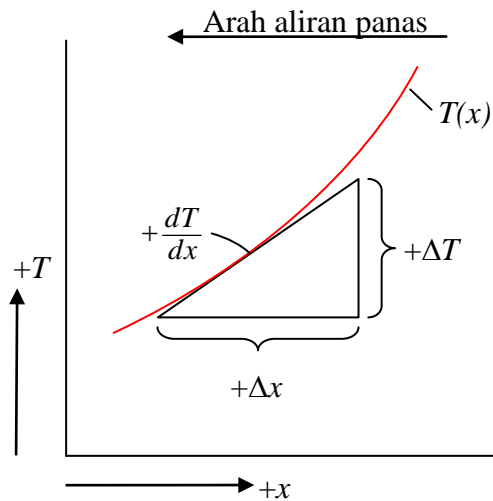
$$\phi(x) \approx K A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

dimana K adalah konduktivitas termal, yang diukur dari kemampuan material untuk menghantarkan panas, $\frac{dT}{dx}$ adalah gradien temperatur. Dengan pendekatan $\Delta x \rightarrow 0$,

persamaan di atas berubah menjadi :

$$\phi(x) = -K A \frac{dT}{dx} \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) merupakan *Hukum Fourier untuk konduksi panas*, setelah J. Fourier yang mengekspresikan pertama kali dalam teks perpindahan panasnya pada tahun 1822 (Çengel, 1998). Hubungan di atas menunjukkan bahwa laju konduksi panas berbanding lurus terhadap gradien temperatur dalam arah itu (Gambar 2.7). Tanda negatif dalam persamaan (2.14) menunjukkan bahwa aliran konduksi panas dari daerah temperatur tinggi ke daerah temperatur rendah berlawanan dengan arah gradien temperatur (Hidayat, 2006).



Gambar 2.7 Sketsa yang Melukiskan Konvensi tentang Tanda untuk Aliran Panas Konduksi

2.6 Persamaan Panas pada Silinder

Persamaan konduksi panas satu dimensi secara umum diformulasikan sebagai berikut:

$$\frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^n K \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \dot{g} = \rho C \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2.15)$$

dimana untuk $n = 0$ jika dinding datar, $n = 1$ jika silinder, dan $n = 2$ jika bola (Çengel, 1998). Pada penelitian ini, kaleng yang digunakan dianggap sebagai sebuah silinder pejal tanpa ada pembangkitan panas ($\dot{g} = 0$), sehingga persamaan (2.15) menjadi:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(Kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) = C\rho \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2.16)$$

dengan r adalah jari-jari kaleng, K adalah konduktivitas termal, C adalah kalor jenis bahan, dan ρ adalah massa jenis bahan. Sedangkan syarat awal dan syarat batasnya dinyatakan oleh persamaan berikut:

Syarat awal

Syarat awal atau kondisi awal didefinisikan dengan menuliskan distribusi temperatur yang diketahui melewati silinder pada waktu nol dengan suhu awalnya adalah T_0

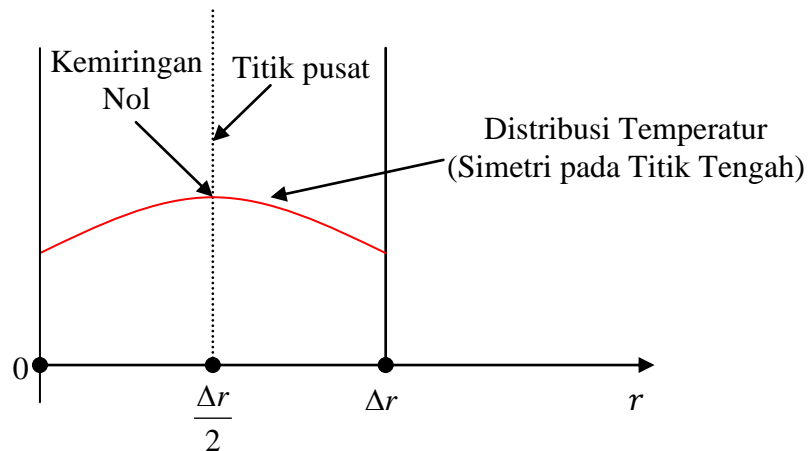
$$T(r, 0) = T_0 \quad \forall r \in [0, R].$$

Syarat Batas

1. Syarat Batas Pusat (*Center Boundary Condition*)

Substraksi atau pengurangan antara Φ_{masuk} dan Φ_{keluar} di pusat bola adalah nol, karena tidak ada Φ_{masuk} maupun Φ_{keluar} pada $r = 0$ (lihat Gambar 2.8), sehingga gradien temperturnya juga nol.

$$\left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=0} = 0.$$



Gambar 2.8 Skema dari Syarat Batas di Pusat

2. Syarat Batas *Interface* (*Interface Boundary Condition*)

Dalam proses perpindahan panas, panas akan mengalir secara kontinu sehingga lapisan (*layer*) dengan konduktivitas panas yang berbeda dapat dipandang sebagai suatu sistem dengan nilai konduktivitas panas yang konstan dimana diantara dua lapisan yang berbeda diberikan syarat batas *interface*. Misalkan *interface* antara dua titik grid $r - p$ dan $r + q$ seperti yang terlihat pada Gambar 2.9. Dengan menggunakan prinsip keseimbangan panas pada *interface* yakni; $\Phi_{\text{masuk}} - \Phi_{\text{keluar}} =$ perubahan muatan panas pada *layer* $\frac{\partial}{\partial t}$ (kandungan panas dalam *layer*), dimana

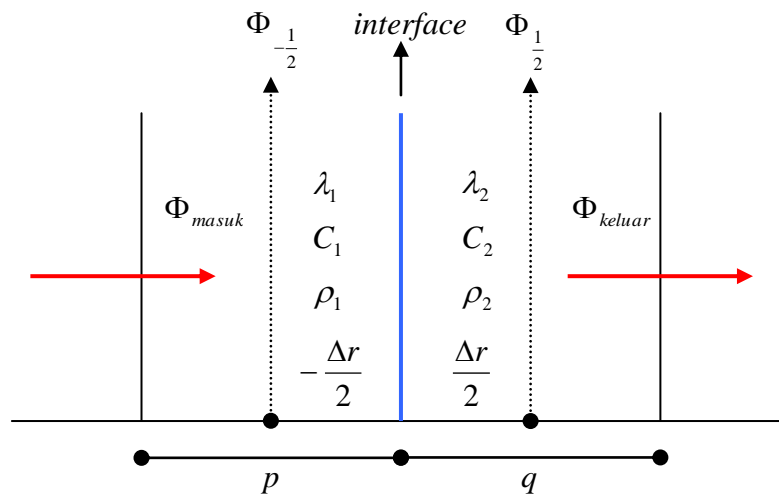
$$\Phi_{\text{masuk}} - \Phi_{\text{keluar}} = 4\pi(r-p)^2 \cdot \Phi(r-p) - 4\pi(r+q)^2 \cdot \Phi(r+q), \text{ dan}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\text{kandungan panas dalam layer}) = \rho_1 C_1 \pi (r^2 - (r-p)^2) \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_2 C_2 \pi ((r+q)^2 - r^2) \frac{\partial T}{\partial t},$$

maka pengurangan antara Φ_{masuk} dan Φ_{keluar} menghasilkan :

$$\pi p \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 4 \pi r (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2) \frac{\partial T}{\partial t}$$

atau
$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2}{2} \frac{\partial T}{\partial t}$$



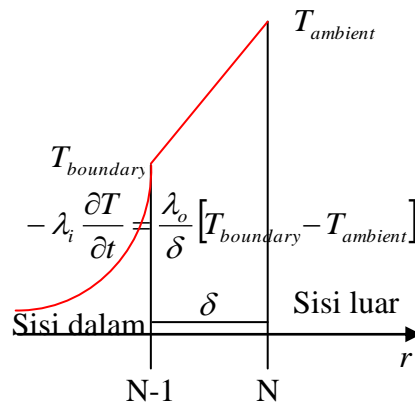
Gambar 2.9 Ilustrasi tentang Aliran Panas pada *Interface*

3. Syarat Batas Luar (*Outer Boundary Condition*)

Dalam proses perpindahan panas, bagian yang paling luar akan mengadakan kontak langsung terhadap sumber panas. Bagian yang paling luar disebut sebagai batas luar dan panas dari luar disebut temperatur lingkungan ($T_{ambient}$). Misalkan pada permukaan benda yang berbentuk bola terdapat suatu lapisan yang tipis (*film*) dengan ketebalan δ . Jika indeks i menyatakan bagian dalam dan indeks o bagian luar, maka dengan menggunakan prinsip keseimbangan panas $\Phi_{masuk} = \Phi_{keluar}$, dimana Φ_{masuk} adalah hasil kali antara konduktivitas panas dari luar dengan selisih temperatur lingkungan ($T_{ambient}$) dan temperatur pada syarat batas ($T_{boundary}$) dibagi dengan ketebalan lapisan tipis (*film*) yang merupakan gradien temperatur di permukaan (lihat Gambar 2.10). Secara matematik dirumuskan dalam persamaan (2.20) berikut ini :

$$\lambda_i \left\{ \frac{\partial T}{\partial r} \right\}_{boundary} = \frac{\lambda_o}{\delta} \{ T_{ambient} - T_{boundary} \}$$

(Hidayat, 2006).



Gambar 2.10 Skema tentang Perpindahan Panas pada Permukaan Luar

Nurilmaulidi (2012) telah melakukan diskritisasi syarat batas pusat, *interior grid-point*, dan syarat batas luar pada persamaan silinder pejal dengan radius r . Dari hasil diskritisasi tersebut, diperoleh model diskrit sebagai berikut:

a. Syarat Batas pada Pusat Silinder

$$\left(1 + \frac{4Kv\theta}{\rho C}\right) T_0^{k+1} - \frac{4Kv\theta}{\rho C} T_1^{k+1} = \left(1 - \frac{4Kv}{\rho C}(1 - \theta)\right) T_0^k - (1 - \theta) \frac{4Kv}{\rho C} T_1^k \quad (2.17)$$

dengan $v = \frac{\Delta t}{\Delta r^2}$

b. Interior Grid-Point

$$\begin{aligned} & -\frac{v\theta K\left(i - \frac{1}{2}\right)}{\rho Ci} T_{i-1}^{k+1} + \left(1 + 2\frac{v\theta K}{\rho C}\right) T_i^{k+1} - \frac{v\theta K\left(i + \frac{1}{2}\right)}{\rho Ci} T_{i+1}^{k+1} = \\ & -\frac{v(1 - \theta)K\left(i - \frac{1}{2}\right)}{\rho Ci} T_{i-1}^k + \left(1 + 2\frac{v(1 - \theta)K}{\rho C}\right) T_i^k - \frac{v(1 - \theta)K\left(i + \frac{1}{2}\right)}{\rho Ci} T_{i+1}^k \end{aligned} \quad (2.18)$$

dengan $v = \frac{\Delta t}{\Delta r^2}$

c. Syarat Batas Luar

$$\left(\alpha + \frac{1}{\Delta r}\right) \theta T_i^{k+1} - \frac{\theta}{\Delta r} T_{i-1}^{k+1} = \alpha T_{ambient} - \left(\alpha + \frac{1}{\Delta r}\right) (1 - \theta) T_i^k + \frac{(1 - \theta)}{\Delta r} T_{i-1}^k \quad (2.19)$$

dengan $\alpha = \frac{\gamma}{K\delta}$, $r_i = i\Delta r$, $\Delta r = \frac{1}{N}$, $i = 1, 2, 3, \dots, I = N$

2.7 Syarat Sterilisasi

Bila melakukan sterilisasi mekanis menggunakan mesin pemanas, maka proses penyeterilannya akan mengikuti model persamaan (2.20). Alasan yang mendasar untuk memodelkan proses penyeterilan adalah menentukan bagian yang paling dingin atau yang paling lambat dicapai oleh panas sehingga jumlah (akumulasi) mikro-organisme yang mati F_0 , memenuhi standar untuk kesehatan yang diformulasikan oleh persamaan berikut:

$$F_0 = \int_0^t 10^{\left(\frac{T_{crit}(t) - T_{ref}}{D}\right)} dt, \quad (2.20)$$

dimana $T_{crit}(t)$ menyatakan temperatur lokasi yang paling dingin dari partikel atau temperatur pada titik kritis, D parameter kinetik panas yang mematikan mikro-organisme tertentu dan T_{ref} temperatur yang mematikan mikro-organisme tersebut. Dalam penelitian ini $T_{crit}(t)$ akan diperoleh melalui model perpindahan energi panas yang akan dimodelkan.

Rata-rata panas yang mematikan mikro-organisme mengikuti persamaan berikut:

$$K_d = K_{d0} e^{\left(\frac{E_d}{R_g T}\right)}, \quad (2.21)$$

dimana K_d rata-rata reaksi kinetik khusus yang merupakan fungsi dari konstanta Arrhenius K_{d0} dan E_d energi pengaktifan (kedua-duanya bebas dari temperatur), T temperatur penyeterilan dan R_g konstanta gas ideal.

Deidoerfer dan *Humprey* (1959a & 1959b) menurunkan perpindahan panas dengan menggunakan prinsip keseimbangan panas yang dinyatakan sebagai suatu profil temperatur waktu. Hasil yang diperolehnya yaitu ruas kiri dari persamaan (2.18) adalah logaritma dari perbandingan antara konsentrasi mikro-organisme yang hidup pada akhir penyeterilan yang dirumuskan menjadi:

$$\ln\left(\frac{N_f}{N_0}\right) = - \int_0^{T_f} K_{d0} e^{\left(\frac{E_d}{R_g T}\right)} dt$$

dimana N_f jumlah akhir mikro-organisme yang masih hidup dalam satuan volume.

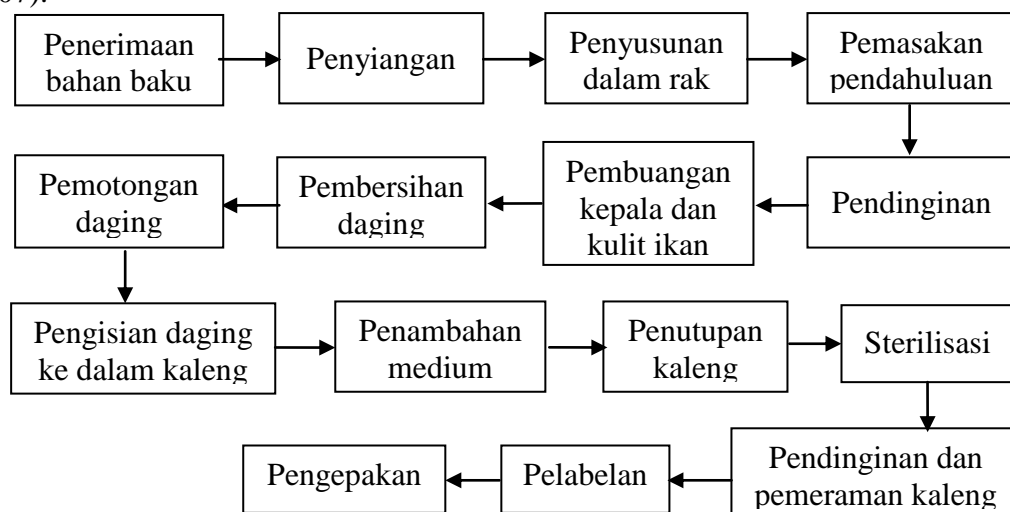
2.8 Proses Sterilisasi Pengalengan Ikan Tuna

Istilah sterilisasi berarti membebaskan bahan dari semua mikroba. Karena beberapa spora bakteri relatif lebih tahan terhadap panas, maka sterilisasi biasanya dilakukan pada suhu yang tinggi misalnya 121°C selama 15 menit. Ini berarti bahwa setiap partikel dari makanan tersebut harus menerima jumlah panas yang sama. Proses sterilisasi merupakan proses utama pada proses produksi pangan steril

komersial, khususnya untuk menjamin tercapainya keamanan pangan steril komersial. Sterilisasi komersial (*commercial sterilization*) adalah sterilisasi yang biasanya dilakukan terhadap sebagian besar makanan-makanan di dalam kaleng atau botol. Pemberian panas pada proses pengalengan diharapkan tidak hanya dapat membunuh mikroba penyebab penyakit dan penyebab kebusukan, namun perubahan tekstur, warna dan nilai nutrisi produk tidak rusak. Penggunaan suhu dan waktu yang digunakan dalam sterilisasi komersial didasarkan pada kecukupan panas yang diberikan sehingga dapat membunuh bakteri *Clostridium botulinum* yang berpotensi menimbulkan racun botulin yang mematikan (Dwiari, 2008).

Sterilisasi pada pengalengan adalah proses pemanasan wadah serta isinya pada suhu dan jangka waktu tertentu untuk menghilangkan atau mengurangi faktor-faktor penyebab kerusakan makanan, tanpa menimbulkan gejala lewat pemasakan (*over cooking*) pada makanannya. Waktu dan suhu yang diperlukan untuk proses sterilisasi biasanya tergantung pada konsistensi atau ukuran partikel bahan, derajat keasaman isi kaleng, ukuran *headspace*, besar dan ukuran kaleng, kemurnian uap air (*steam*) yang digunakan, dan kecepatan perambatan panas.

Secara garis besar proses pengalengan ikan tuna yang dilakukan oleh pabrik pengalengan ikan di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.11 (Irianto & Akbarsyah, 2007).



Gambar 2.11 Skema Proses Pengalengan Ikan Tuna

Sebelum sterilisasi dilakukan penutupan kaleng menggunakan *vacum seamer*, yaitu mesin penutup kaleng yang sekaligus dapat melakukan penghampaan udara dalam kaleng. Penghampaan udara dalam kaleng berpengaruh terhadap tekanan udara yang diberikan selama proses sterilisasi. Purnomo (2009) menyatakan bahwa proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna meliputi pemeriksaan awal dan pemuatan kaleng dalam retort, proses *venting*, proses sterilisasi (*come up time and processing time*), proses pendinginan (*cooling process*).

Adapun Pengoperasian Retort/Pelaksanaan Penerapan Sterilisasi Pada Proses Pengalengan Ikan Tuna di PT. BFPI Sebagai Berikut :

a. alat-alat pendukung sterilisasi/retort.

Mesin Sterilisasi, *Thermometer, Chart Recording, Manometer, Bleeder, Pipa venting, Steam inlet, Inlet Water Cooling, Steam Spreader, Pipa Gabungan, Boiler, Derek Mekanis, Forklif.*

b. proses pelaksanaan sterilisasi atau pengoperasian retort.

1) Pemeriksaan awal dan pemuatan kaleng dalam retort.

Sebelum dilakukan suatu proses sterilisasi, dilakukan persiapan pengontrolan pertama pada komponen peralatan sterilisasi yaitu Boiler (kecukupan suplay steam), kompresor (suplay tekanan udara pendorong), *temperatur, manometer, Chart Recording, Bleeder, Pipa venting, Steam inlet, Inlet, Water Cooling, Steam Spreader, Pipa Gabungan, Boiler, dan Derek mekanis.*

2) Proses *venting*.

Venting adalah mengusir keluar atau menghilangkan sepenuhnya udara bebas yang ada di dalam retort dengan cara memasukkan steam murni dan pemberian tekanan udara sehingga udara bebas akan keluar bersamaan dengan steam sampai pencapaian suhu 105°C selama ± 5 menit. Pemberian tekanan udara selama proses sterilisasi adalah konstan agar kerusakan pada bahan makanan dapat dihindari.

3) Proses sterilisasi (*come up time and processing time*).

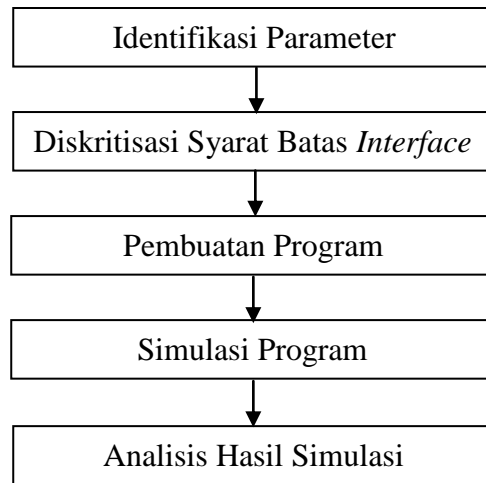
Tujuan dari *come up time* adalah untuk memperlakukan suhu dalam retort pada tingkat suhu proses sampai batas waktu yang ditentukan selama 15 menit, sedangkan untuk *processing time* bukan dihitung sejak kaleng dimasukkan akan tetapi dihitung sejak suhu mencapai tinggi tertentu hingga pemasukan uap retort masuk diminimalkan. Lama proses sterilisasi ini tergantung dari berat dan ukuran kaleng yang disterilisasi.

4) Proses pendinginan (*cooling process*).

Proses pendinginan dilakukan dengan menggunakan air bersih selama 15 menit. Suhu pendingin yang digunakan merupakan suhu normal air biasa yaitu 22°C-25°C. Media air pendingin ini harus dipastikan memenuhi ruangan didalam retort sampai batas diatas permukaan basket yang bertujuan untuk proses pendinginan yang merata dengan cara mengontrol kran *overflow*. Pada proses ini harus segera dilakukan karena untuk mencegah terjadinya *overcooking* pada produk. Sedangkan untuk target suhu kaleng dipastikan berangsur-angsur turun sampai mencapai suhu 38°C.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Secara skematik, langkah-langkah yang akan dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema Metode Penelitian

Dari skema pada Gambar 3.1, langkah-langkah penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Identifikasi Parameter

Identifikasi parameter digunakan untuk memperkenalkan beberapa parameter yang akan digunakan dalam simulasi perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna. Penentuan parameter ini diambil dari data yang telah tersedia, diantaranya yaitu konduktivitas termal (K), massa jenis bahan (ρ), kalor jenis bahan (C), jari-jari kaleng (r), jumlah grid (N), dan temperatur penyeteril ($T_{ambient}$).

2. Diskritisasi syarat batas *interface*

Untuk menyelesaikan persamaan konduksi panas (2.16) akan dilakukan diskritisasi syarat batas *interface* menggunakan metode beda hingga skema metode- θ . Setelah diperoleh model diskrit kemudian dikumpulkan dengan model diskrit yang lain yaitu syarat batas pusat, *interior grid-point*, dan syarat batas luar, lalu dijadikan dalam bentuk matrik agar dapat dibuat program simulasi model perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna dengan menggunakan MATLAB 7.8 (R2009a).

3. Pembuatan program.

Software yang akan digunakan dalam pembuatan program adalah *software* Matlab 7.8 (R2009a). Prosedur untuk membuat program simulasi model perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna adalah sebagai berikut:

- a. input nilai-nilai parameter,
- b. proses,
 - 1) membuat subprogram untuk syarat batas pusat (pada $r = 0$);
 - 2) membuat subprogram untuk syarat batas *interior*;
 - 3) membuat subprogram untuk syarat batas luar.
- c. output T_i^{k+1} .

4. Simulasi Program.

Setelah pembuatan program selesai, langkah selanjutnya melakukan simulasi parameter yang digunakan yaitu jenis bahan kaleng yang digunakan, jari-jari kaleng (r), dan temperatur penyeteril ($T_{ambient}$). Simulasi ini dilakukan dengan mengubah beberapa nilai parameter yang telah ditentukan sebelumnya.

5. Analisis hasil.

Hasil yang diperoleh dari simulasi selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan nilai-nilai fisik yang berpengaruh pada proses perpindahan panas sehingga dapat diketahui profil perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang simulasi model perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna menggunakan metode beda hingga skema metode- θ dengan bantuan *software* MATLAB 7.8 (R2009a). Adapun langkah-langkah umum yang digunakan pada skema metode- θ antara lain:

- a. menentukan persamaan yang akan diselesaikan beserta kondisi awal dan kondisi batasnya;
- b. melakukan diskritisasi pada persamaan dengan menggunakan metode beda hingga skema metode- θ ;
- c. menentukan Δr dan Δt yang digunakan;
- d. mensubstitusi semua nilai yang telah diketahui ke bentuk skema metode- θ ;
- e. mencari solusi.

4.1 Identifikasi Parameter

Persamaan panas yang digunakan pada penelitian ini adalah persamaan (2.16). Dalam persamaan tersebut terdapat beberapa parameter yang harus ditentukan terlebih dahulu, diantaranya yaitu konduktivitas termal (K), massa jenis bahan (ρ), kalor jenis bahan (C), jari-jari kaleng (R), jumlah grid (N), dan temperatur penyeteril ($T_{ambient}$). Dalam skripsi ini akan digunakan jari-jari kaleng sebesar 0,03 meter, 0,04 meter, 0,05 meter, dan 0,07 meter (Holdsworth & Simpson, 2007), jumlah grid sebesar 500, dan temperatur penyeteril sebesar 115,5 °C, 121,1 °C, dan 126,6 °C (Holdsworth & Simpson, 2007). Untuk parameter-parameter yang lain terdapat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai Sifat Fisik untuk Bahan Kaleng dan Ikan Tuna

| Nama Bahan | $Kg/m^3 (\rho)$ | $J/Kg.K (C)$ | $W/m.K (K)$ |
|--------------------|-----------------|--------------|-------------|
| <i>Tin</i> (Timah) | 7310 | 227 | 66,6 |
| <i>Aluminium</i> | 2270 | 875 | 117 |
| <i>Zinc</i> | 7140 | 389 | 116 |
| Ikan Tuna | 1180 | 13,59 | 0.0019 |

Sumber: Çengel (1998).

4.2 Diskritisasi Syarat Batas *Interface*

Persamaan (2.16) akan didiskritisasi menggunakan metode beda hingga skema metode- θ . Berikut diskritisasi syarat batas *interface* pada persamaan (2.16).

$$\Phi_{masuk} - \Phi_{keluar} = \frac{\partial}{\partial t} (\text{kandungan panas dalam lapisan(layer)})$$

$$4\pi[(r-p)^2\Phi(r-p) - (r+q)^2\Phi(r+q)] = \pi \frac{\partial}{\partial t} [\rho_1 C_1 [r^2 - (r-p)^2] + \rho_2 C_2 [(r+q)^2 - r^2] T]$$

atau

$$[(r-p)^2\Phi(r-p) - (r+q)^2\Phi(r+q)] = \frac{1}{4} \frac{\partial}{\partial t} [\rho_1 C_1 [r^2 - (r-p)^2] + \rho_2 C_2 [(r+q)^2 - r^2] T]$$

ambil $p = \frac{\Delta r}{2}$, $q = \frac{\Delta r}{2}$ dan hukum Fourier $\Phi = -K \frac{\partial T}{\partial r}$

$$\left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 \Phi_{-\frac{1}{2}} - \left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 \Phi_{\frac{1}{2}} = \left[\rho_1 C_1 \left(-r\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4}\right) \right] \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2 \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{\frac{1}{2}} - \left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1 \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{-\frac{1}{2}} =$$

$$\left[\rho_1 C_1 \left(-r\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4}\right) \right] \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t}$$

1) Skema Eksplisit

$$\begin{aligned} & \frac{\left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2(T_{i+1}^k - T_i^k) - \left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1(T_i^k - T_{i-1}^k)}{\Delta r} \\ & = \left(\rho_1 C_1 \left(-r\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4}\right)\right) \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \end{aligned}$$

2) Skema Implisit

$$\begin{aligned} & \frac{\left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2(T_{i+1}^{k+1} - T_i^{k+1}) - \left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1(T_i^{k+1} - T_{i-1}^{k+1})}{\Delta r} \\ & = \left(\rho_1 C_1 \left(-r\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r\Delta r + \frac{\Delta r^2}{4}\right)\right) \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \end{aligned}$$

3) Skema Metode- θ

$$\begin{aligned} T_i^{k+1} = T_i^k + & \frac{\theta v \left(\left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2(T_{i+1}^k - T_i^k) - \left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1(T_i^k - T_{i-1}^k) \right)}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)} \\ & + \frac{(1 - \theta)v \left(\left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2(T_{i+1}^{k+1} - T_i^{k+1}) - \left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1(T_i^{k+1} - T_{i-1}^{k+1}) \right)}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)} \end{aligned}$$

dimana

$$\begin{aligned} v = & \frac{\Delta t}{\Delta r^2} \\ & - \frac{\theta v \left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)} T_{i-1}^{k+1} \\ & + \left(1 + \frac{\theta v \left(\left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1 + \left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2 \right)}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)} \right) T_i^{k+1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{\theta v \left(r + \frac{\Delta r}{2} \right)^2 K_2}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4} \right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4} \right) \right)} T_{i+1}^{k+1} \\
& = \frac{(1 - \theta) v \left(r - \frac{\Delta r}{2} \right)^2 K_1}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4} \right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4} \right) \right)} T_{i-1}^k \\
& + \left(1 - \frac{(1 - \theta) v \left(\left(r - \frac{\Delta r}{2} \right)^2 K_1 + \left(r + \frac{\Delta r}{2} \right)^2 K_2 \right)}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4} \right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4} \right) \right)} \right) T_i^k \\
& + \frac{(1 - \theta) v \left(r + \frac{\Delta r}{2} \right)^2 K_2}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4} \right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4} \right) \right)} T_{i+1}^k \tag{4.1}
\end{aligned}$$

4.3 Model Diskrit dan Persamaan Matrik

4.3.1 Model Diskrit

Bentuk kontinyu dari model perpindahan panas pada persamaan (2.16) setelah dilakukan diskritisasi menggunakan metode beda hingga skema metode- θ , diperoleh model diskrit seperti pada persamaan (2.17) untuk syarat batas pusat, persamaan (2.18) untuk *interior grid point*, persamaan (2.19) untuk syarat batas luar, dan persamaan (4.1) untuk syarat batas *interface*. Jika ditinjau dari setiap *grid point* pada syarat batas yang telah ditentukan, maka dengan bentuk diskrit ini, persamaan (2.16) dapat diamati perilaku perpindahan panasnya pada tiap-tiap *grid point*-nya.

4.3.2 Persamaan Matrik

Dari bentuk diskritisasi, kita dapat menuliskan persamaan aljabar secara lengkap dari persamaan panas dalam bentuk sistem linier yang ditunjukkan dalam bentuk matrik seperti dibawah ini.

Bentuk matrik pada *grid-point*: $0 \leq i \leq I$, untuk silinder pejal dengan radius r yaitu:

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & I_1 & I_2 & I_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \gamma_1 & \gamma_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_0^{k+1} \\ T_1^{k+1} \\ T_2^{k+1} \\ \dots \\ T_{\text{int}}^{k+1} \\ \dots \\ T_{i-1}^{k+1} \\ T_i^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & I_4 & I_5 & I_6 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \gamma_3 & \gamma_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_0^k \\ T_1^k \\ T_2^k \\ \dots \\ T_{\text{int}}^k \\ \dots \\ T_{i-1}^k \\ 1 \end{bmatrix}$$

dimana I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 , dan I_6 adalah komponen matrik pada *interface*, dan nilai komponen matrik pada persamaan di atas adalah:

$$A_1 = 1 + \frac{4Kv\theta}{\rho C}, \quad A_2 = -\frac{4Kv\theta}{\rho C},$$

$$B_1 = 1 - \frac{4Kv}{\rho C}(1 - \theta), \quad B_2 = -(1 - \theta)\frac{4Kv}{\rho C},$$

$$\alpha_1 = -\frac{v\theta K\left(i - \frac{1}{2}\right)}{\rho Ci}, \quad \alpha_2 = \left(1 + 2\frac{v\theta K}{\rho C}\right), \quad \alpha_3 = -\frac{v\theta K\left(i + \frac{1}{2}\right)}{\rho Ci},$$

$$\beta_1 = -\frac{v(1 - \theta)K\left(i - \frac{1}{2}\right)}{\rho Ci}, \quad \beta_2 = \left(1 + 2\frac{v(1 - \theta)K}{\rho C}\right), \quad \beta_3 = \frac{v(1 - \theta)K\left(i + \frac{1}{2}\right)}{\rho Ci},$$

$$I_1 = -\frac{\theta v\left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1}{\left(\rho_1 C_1\left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2\left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)},$$

$$I_2 = \left(1 + \frac{\theta v\left(\left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1 + \left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2\right)}{\left(\rho_1 C_1\left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2\left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)}\right),$$

$$I_3 = -\frac{\theta v\left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2}{\left(\rho_1 C_1\left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2\left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)},$$

$$I_4 = \frac{(1 - \theta)v \left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)},$$

$$I_5 = \left(1 - \frac{(1 - \theta)v \left(\left(r - \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_1 + \left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2\right)}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)}\right),$$

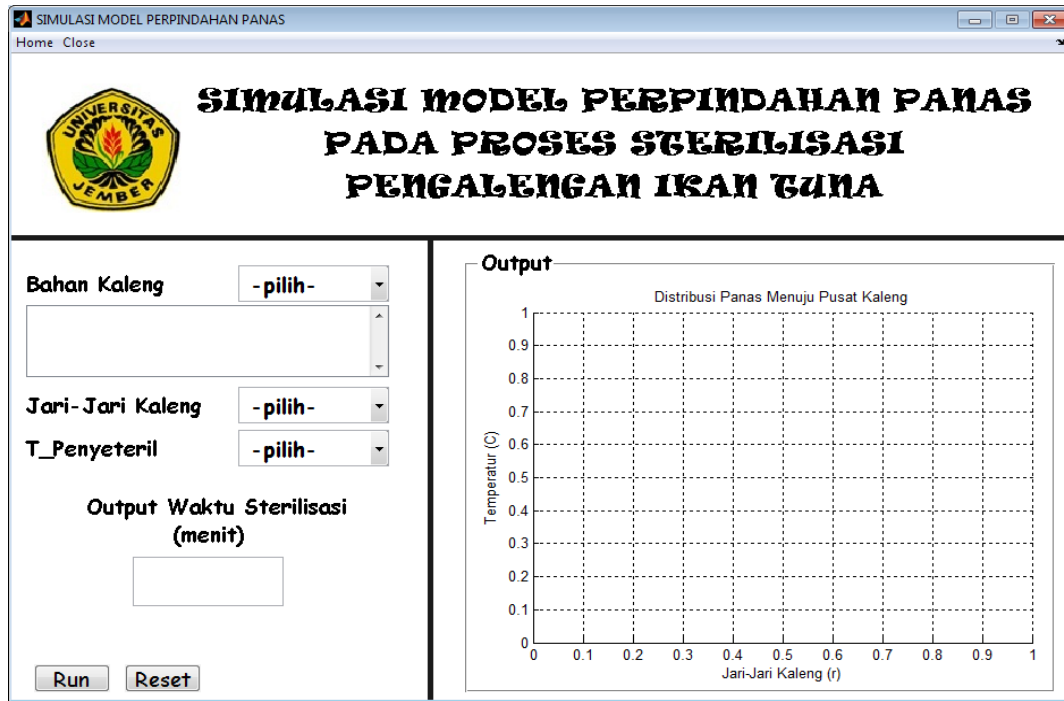
$$I_6 = \frac{(1 - \theta)v \left(r + \frac{\Delta r}{2}\right)^2 K_2}{\left(\rho_1 C_1 \left(-r + \frac{\Delta r}{4}\right) + \rho_2 C_2 \left(r + \frac{\Delta r}{4}\right)\right)},$$

$$\gamma_1 = -\frac{\theta}{\Delta r}, \quad \gamma_2 = \left(\alpha + \frac{1}{\Delta r}\right)\theta, \quad \gamma_3 = \frac{(1 - \theta)}{\Delta r}, \quad \gamma_4 = \left(\alpha + \frac{1}{\Delta r}\right)(1 - \theta),$$

dan T_{int} adalah T pada *interface*.

4.4 Pembuatan Program

Dalam pembuatan program dibutuhkan suatu algoritma. Algoritma ini dapat berbentuk suatu narasi atau berupa *flowchart*. *Flowchart* program simulasi perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna secara umum terdapat pada Lampiran B. *Software* yang digunakan dalam pembuatan program adalah MATLAB 7.8 (R2009a). Dalam pembuatan program ini, ditambahkan GUI (*Graphic User Interface*) agar tampilan program menjadi lebih menarik dan interaktif. GUI merupakan media tampilan grafis sebagai pengganti perintah teks untuk berinteraksi antara *user* dengan program. Berikut ini adalah tampilan GUI program simulasi model perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Tampilan GUI Program Simulasi Model Perpindahan Panas pada Proses Sterilisasi Pengalengan Ikan Tuna

Input dari program (Gambar 4.1) adalah bahan kaleng, jari-jari kaleng, dan temperatur penyeteril. sedangkan *output*nya yaitu waktu yang dibutuhkan selama pergerakan panas untuk mencapai pusat kaleng.

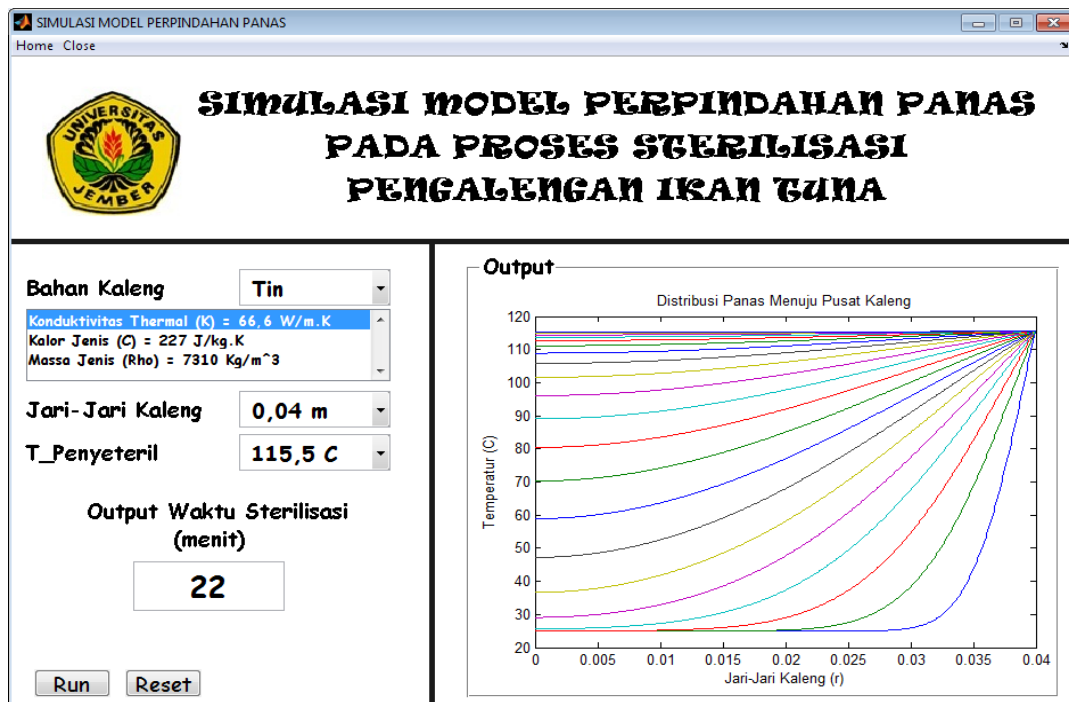
Keterangan lain dari program diatas (Gambar 4.1) antara lain :

- Run, merupakan tombol yang digunakan untuk menjalankan program;
- Reset, merupakan tombol untuk menghapus nilai-nilai yang sudah diinput.

4.5 Simulasi Program

Pada simulasi model perpindahan panas pada proses sterilisasi makanan kaleng terdapat parameter yang akan divariasikan yaitu bahan kaleng, jari-jari kaleng, dan temperatur penyeteril ($T_{ambient}$). Variasi setiap parameter dilakukan secara bergantian misalnya jika bahan kaleng yang divariasikan, maka jari-jari kaleng dan temperatur penyeteril dianggap tetap. Sedangkan jika jari-jari kaleng yang divariasikan, maka bahan kaleng dan temperatur penyeteril dianggap tetap, begitu

juga dengan temperatur penyeteril, jika temperatur penyeteril yang divariasikan, maka bahan kaleng dan jari-jari kaleng dianggap tetap. Berikut hasil simulasi serta visualisasi dengan memasukkan nilai-nilai sifat fisik bahan, jari-jari kaleng, dan temperatur penyeteril dari salah satu bahan kaleng yang divariasikan sedangkan jari-jari kaleng dan temperatur penyeteril dianggap tetap dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Perhitungan dengan Menggunakan MATLAB

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa dengan memilih jenis bahan kaleng *Tin* dan memasukkan nilai sifat fisik bahan *Tin*, jari-jari kaleng sebesar 0,04 meter, serta temperatur penyeteril sebesar 115,5 °C, maka waktu yang diperlukan untuk sterilisasi adalah 22 menit. Pada Gambar 4.2 sumbu x merupakan jari-jari kaleng (dalam meter) dan sumbu y merupakan temperatur penyeteril (dalam °C). Temperatur yang diberikan harus merambat sampai merata dari permukaan ke pusat kaleng. Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa untuk mencapai temperatur pusat hingga sama dengan temperatur penyeteril ($T_{ambient}$) diperlukan waktu sekitar 22 menit.

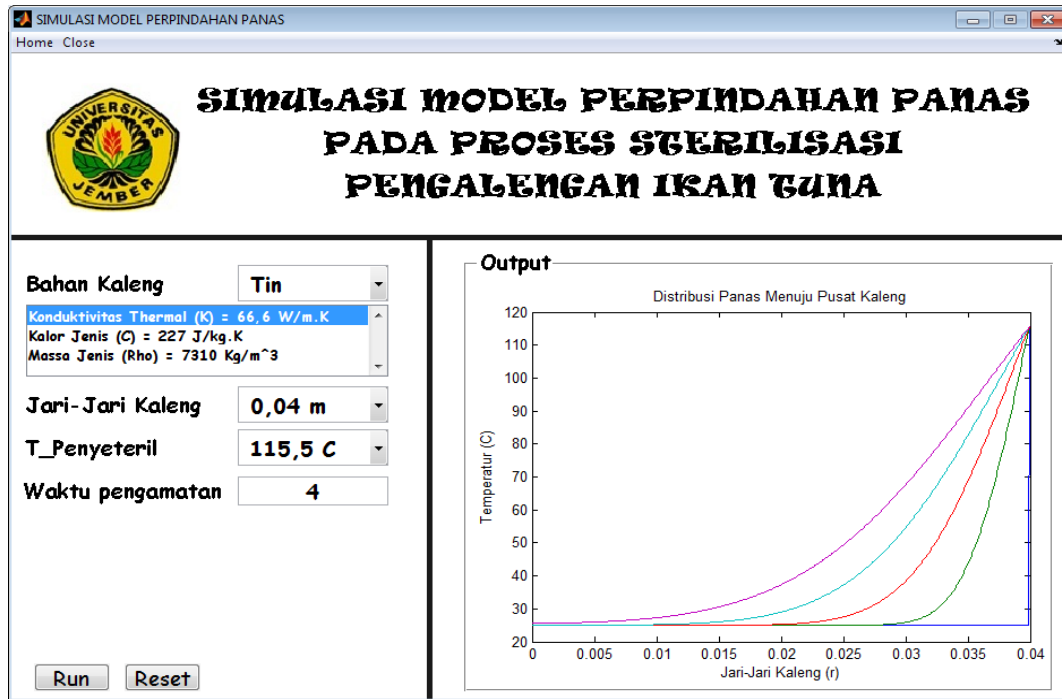
Distribusi panas pada kurva Gambar 4.2 bergerak dari kanan ke kiri. Jari-jari kaleng 0,04 meter merupakan bagian kaleng paling luar sedangkan 0 (nol) merupakan pusat kaleng. Warna dalam setiap kurva menunjukkan distribusi panas pada setiap menit. Kurva pertama paling kanan yang berwarna biru menunjukkan distribusi panas pada menit pertama. Kurva kedua yang berwarna hijau menunjukkan distribusi panas pada menit kedua, dan seterusnya hingga panas merata sampai pusat kaleng. Berikut hasil simulasi dari beberapa sifat fisik bahan kaleng, temperatur penyeteril, dan jari-jari kaleng, ditampilkan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Beberapa Parameter untuk Mengetahui Waktu (dalam Menit) yang Dibutuhkan Selama Perambatan Panas untuk Mencapai Pusat Kaleng

| Bahan Kaleng | Jari - Jari 0,03 meter | | | Jari - Jari 0,04 meter | | |
|--|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| $T_{\text{penyeteril}} (^{\circ}\text{C})$ | 115,5 | 121,1 | 126,6 | 115,5 | 121,1 | 126,6 |
| Tin | 23 | 20 | 17 | 22 | 23 | 21 |
| Aluminium | 22 | 25 | 16 | 18 | 22 | 21 |
| Zinc | 18 | 16 | 16 | 19 | 23 | 18 |

| Bahan Kaleng | Jari - Jari 0,05 meter | | | Jari - Jari 0,07 meter | | |
|--|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|
| $T_{\text{penyeteril}} (^{\circ}\text{C})$ | 115,5 | 121,1 | 126,6 | 115,5 | 121,1 | 126,6 |
| Tin | 27 | 30 | 28 | 36 | 37 | 33 |
| Aluminium | 39 | 35 | 31 | 35 | 36 | 42 |
| Zinc | 25 | 33 | 24 | 42 | 37 | 40 |

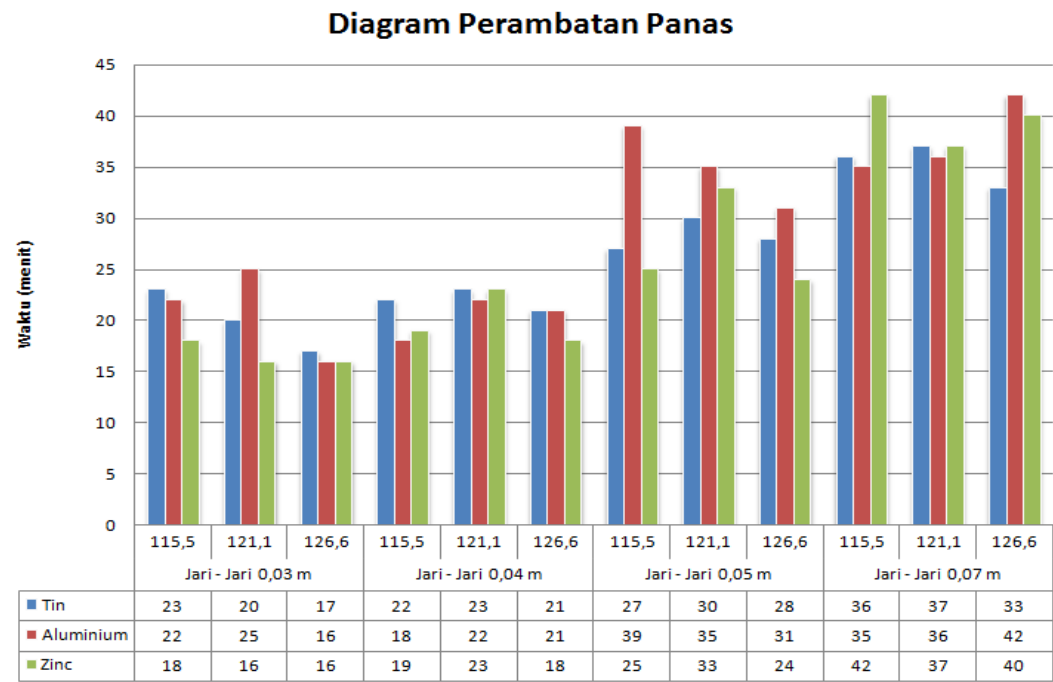
Untuk mengetahui distribusi panas per waktu pengamatan, maka yang perlu di *input*-kan dalam GUI yaitu bahan kaleng, jari-jari kaleng, temperatur penyeteril, dan waktu pengamatan. Distribusi panas per waktu pengamatan dimulai dari waktu ke nol, yaitu pada saat kaleng berada pada temperatur ruangan 25 °C. Misal untuk mengetahui proses perambatan panas selama 4 menit, maka masukkan angka 4 pada “waktu pengamatan”, seperti terlihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Ilustrasi Distribusi Panas dengan Waktu Pengamatan selama 4 Menit

4.6 Analisis Hasil

Untuk mempermudah dalam menganalisis hasil simulasi program hingga temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng dengan memvariasikan temperatur penyeteril ($T_{ambient}$), jari-jari kaleng dan jenis bahan kaleng seperti yang telah ditampilkan pada tabel 4.2, maka data yang telah ditampilkan pada tabel 4.2 akan disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Hasil Simulasi Program Perambatan Panas untuk Mencapai Pusat Kaleng

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa waktu tercepat yang diperlukan pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna dengan jenis bahan kaleng *Tin* yaitu pada temperatur 126,6 °C untuk jari-jari 0,03 meter, 0,04 meter, dan 0,07 meter, sedangkan untuk jari-jari 0,05 meter waktu tercepat terjadi pada temperatur 115,5 °C. Untuk jenis bahan *Aluminium* dengan jari-jari sebesar 0,04 meter dan 0,07 meter, waktu tercepat terjadi pada temperatur 115,5 °C, sedangkan pada jari-jari 0,03 meter dan 0,05 meter, waktu tercepat terjadi pada temperatur 126,6 °C. Begitu juga dengan jenis bahan *Zinc*, waktu tercepat terjadi pada temperatur 126,6 °C untuk jari-jari 0,04 meter, dan 0,05 meter, sedangkan untuk jari-jari 0,07 meter, waktu tercepat terjadi pada temperatur 121,1 °C. Untuk jari-jari 0,03 meter waktu tercepat terjadi pada temperatur 121,1 °C dan 126,6 °C.

Ditinjau dari jenis bahan kaleng yang digunakan dengan jari-jari kaleng dan temperatur penyeteril tetap, *Zinc* merupakan bahan yang paling cepat melakukan perambatan panas hingga mencapai pusat kaleng pada proses sterilisasi pengalengan

ikan Tuna, jika dibandingkan dengan jenis bahan yang lain. Sedangkan jika dilihat dari ukuran kaleng yang digunakan, yaitu dengan memvariasikan jari-jari kaleng dimana bahan kaleng dan temperatur penyeteril tetap, maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar jari-jari kaleng, waktu yang dibutuhkan untuk sterilisasi pengalengan ikan Tuna semakin lama.

Berdasarkan nilai sifat fisik bahan kaleng pada tabel 4.1, *Aluminium* memiliki massa jenis yang rendah dan kalor jenis yang tinggi, sedangkan *Tin* memiliki konduktivitas termal yang rendah. Hal ini jika dilihat dari konsep fisika, yaitu semakin tinggi nilai konduktivitas termal dan massa jenis suatu bahan serta semakin rendah nilai kalor jenisnya, maka kemampuan perpindahan panas pada benda tersebut akan semakin cepat. Pada Tabel 4.2, hasil simulasi telah sesuai dengan konsep fisika. *Zinc* memiliki nilai sifat fisik yang mendukung untuk melakukan perpindahan panas yang lebih cepat daripada *Aluminium* dan *Tin*.

Dalam penelitian ini, waktu penahan (*holding time*) proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna juga diamati. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jumlah panas optimum yang harus diberikan selama proses sterilisasi. Kaleng beserta isinya (ikan Tuna dan saus) berpenetrasi dengan cara konduksi dengan temperatur yang telah ditentukan. Pada Gambar 4.2 untuk jenis bahan kaleng *Tin* dengan jari-jari 0,04 meter dan temperatur penyeteril 115,5 °C diperlukan waktu 22 menit bagi panas untuk berpenetrasi dari permukaan hingga pusat kaleng. Waktu 22 menit ini menjadi *holding time* minimal untuk memastikan bahwa selama proses sterilisasi panas merambat hingga merata dari permukaan sampai ke pusat kaleng.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa profil perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna adalah sebagai berikut.

1. Secara umum bahan kaleng *Zinc* mempunyai laju perpindahan panas yang paling cepat, sedangkan bahan kaleng *Aluminium* mempunyai laju perpindahan panas yang paling lambat.
2. Dilihat dari temperatur penyeteril ($T_{ambient}$), jenis bahan kaleng *Tin* mempunyai laju perpindahan panas yang cepat apabila dipanaskan dengan temperatur 126,6 °C untuk jari-jari 0,03 meter selama 17 menit , 0,04 meter selama 21 menit, dan 0,07 meter selama 33 menit, sedangkan untuk jari-jari 0,05 meter mempunyai laju perpindahan panas yang cepat apabila dipanaskan dengan temperatur 115,5 °C yaitu selama 27 menit. Untuk jenis bahan *Aluminium* mempunyai laju perpindahan panas yang cepat apabila dipanaskan dengan temperatur 115,5 °C pada jari-jari 0,04 meter selama 18 menit, dan 0,07 meter selama 35 menit, serta 126,6 °C pada jari-jari 0,03 meter selama 16 menit dan 0,05 meter selama 31 menit. Untuk jenis bahan *Zinc*, laju perpindahan panas yang cepat terjadi apabila dipanaskan dengan temperatur 126,6 °C untuk jari-jari 0,04 meter selama 18 menit, dan 0,05 meter selama 24 menit, serta 121,1 °C pada jari-jari 0,07 meter selama 37 menit, sedangkan untuk jari-jari 0,03 meter, laju perpindahan panas tercepat terjadi pada temperatur 121,1 °C dan 126,6 °C yaitu selama 16 menit.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah masih terbuka untuk penelitian berikutnya yang berkaitan dengan persamaan panas yang digunakan, seperti persamaan panas dua dimensi untuk benda yang berbentuk silinder. Selain itu, penulis juga menyarankan untuk menggunakan metode diskritisasi persamaan panas selain metode beda hingga agar hasil yang diperoleh semakin teliti.

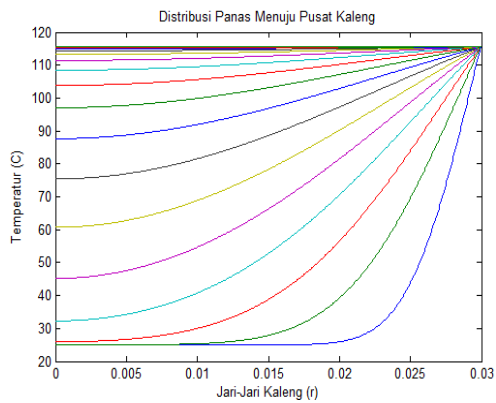
DAFTAR PUSTAKA

- Adawyah, R. 2011. *Pengolahan dan Pengawetan Ikan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Ardian, D. 2010. *Analisa Persamaan Panas dan Nilai Sterilisasi pada Proses Sterilisasi Makanan Kaleng*. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Çengel, Y. A. 1998. *Heat Transfer : A Practical Approach*. Nevada : McGraw-Hill Inc.
- Deindofer, F. H. & Humphrey, A. E. 1959a. Analytical Method for Calculating Heat Sterilization Times. *Journal of Microbiological Process Discussion*, Vol.7: 256-264.
- Deindofer, F. H. & Humphrey, A. E. 1959b. Principle in the Design of Continuous Sterilizer. *Journal of Microbiological Process Discussion*, Vol.7: 264-265.
- Dwiari, S.R. 2008. *Teknologi Pangan*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan Nasional.
- Hidayat, R & Pradjaningsih, A. 2002. *Model Perpindahan Panas pada Benda-Benda Ellipsoida*. Tidak dipublikasikan. Laporan Penelitian. Jember : Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Hidayat, R. 2006. *Persamaan Diferensial Parsial*. Jember: Jember University Press.
- Holdsworth, R & Simpson, R. 2007. *Thermal Processing of Packaged Foods*. New York: Springer.
- Holman, J.P. 1994. *Perpindahan kalor*, Edisi Keenam. Jakarta: Erlangga.
- Irianto, H. E. & Akbarsyah, T. M. I. 2007. Pengalengan Ikan Tuna Komersial. *Squalen*, vol.2 No.2.
- Kreith, F. 1997. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.

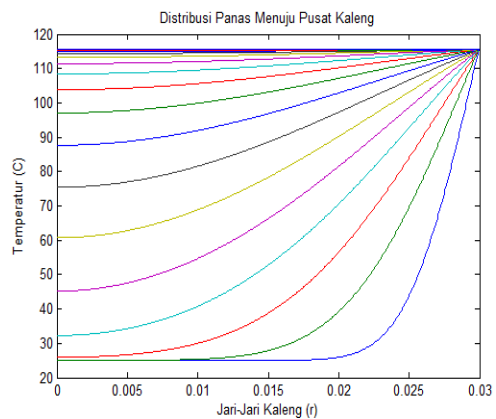
- Nurilmaulidi, A. E. 2012. *Model dan Simulasi Perpindahan Panas Karburisasi (Carburizing) pada Proses Transmisi Berbentuk Silinder Pejal*. Tidak Diterbitkan. Tesis. Jember: Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Purnomo, I.R. 2009. Penerapan Sterilisasi Pada Proses Pengalengan Ikan Tuna *In Brine* di PT. Blambangan Food Packers Indonesia Muncar Banyuwangi). <http://www.apsidoarjo.bpsdmkp.kkp.go.id/index.php?option=com>. [14 Maret 2012].
- Triatmodjo, B. 2002. *Metode Numerik Dilengkapi dengan Program Komputer*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yang, W. Y. 2005. *Applied Numerical Methode Using Matlab*. USA: Wiley Interscience.

Lampiran A. Hasil simulasi program perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna

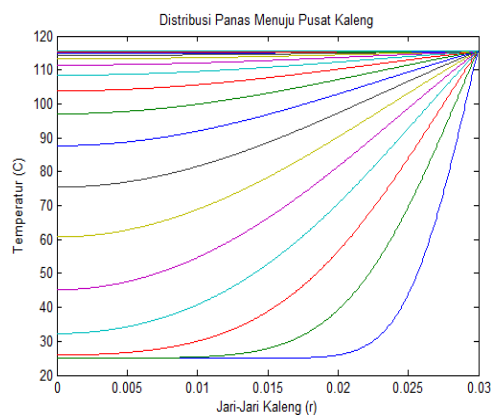
A1. Grafik distribusi panas menuju pusat kaleng pada temperatur 115,5 °C dengan jari-jari 0,03 meter



- Jenis bahan *Tin*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 23 menit

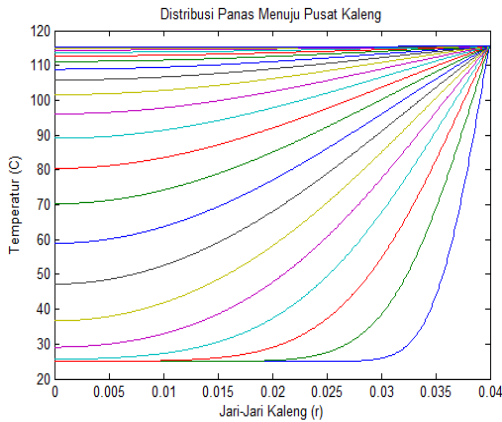


- Jenis bahan *Aluminium*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 22 menit

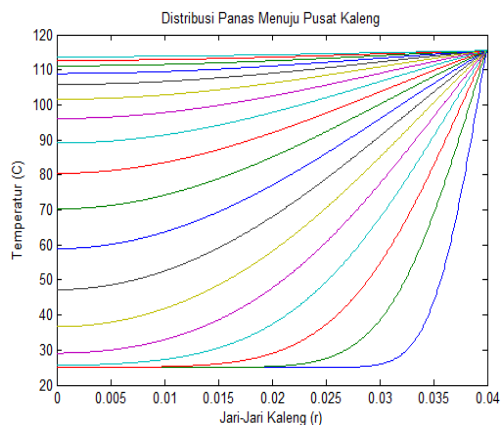


- Jenis bahan *Zinc*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 18 menit

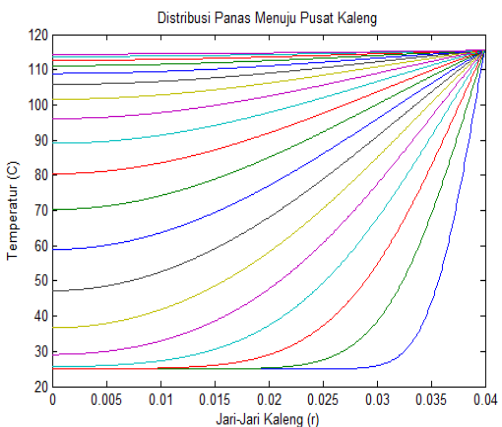
A2. Grafik distribusi panas menuju pusat kaleng pada temperatur 115,5 °C dengan jari-jari 0,04 meter



- Jenis bahan *Tin*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 22 menit

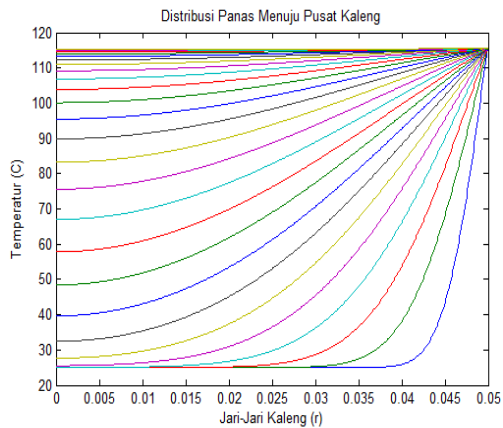


- Jenis bahan *Aluminium*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 18 menit

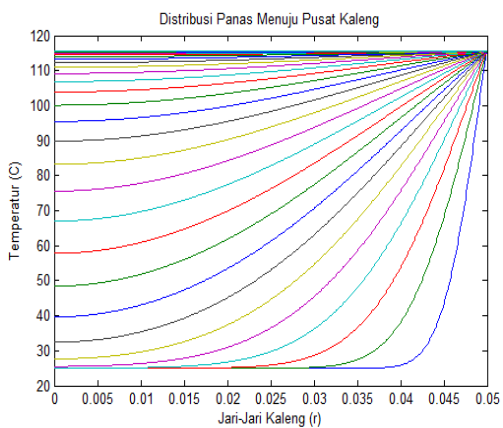


- Jenis bahan *Zinc*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 19 menit

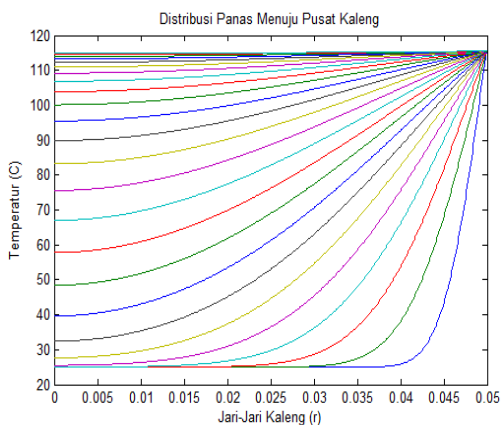
A3. Grafik distribusi panas menuju pusat kaleng pada temperatur 115,5 °C dengan jari-jari 0,05 meter



- Jenis bahan *Tin*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 27 menit

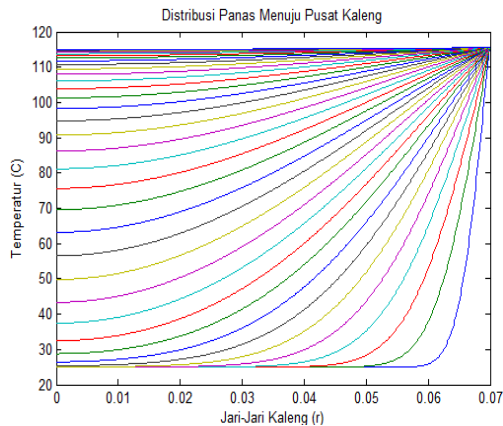


- Jenis bahan *Aluminium*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 39 menit

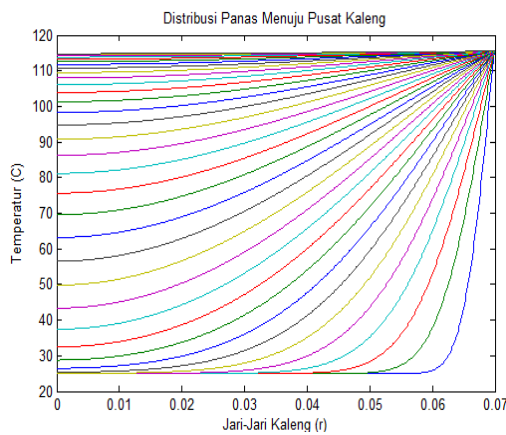


- Jenis bahan *Zinc*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 25 menit

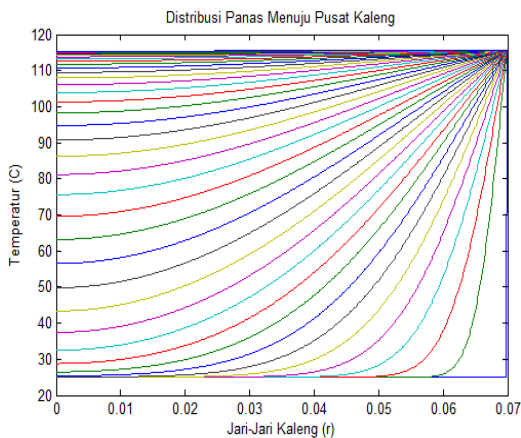
A4. Grafik distribusi panas menuju pusat kaleng pada temperatur 115,5 °C dengan jari-jari 0,07 meter



- Jenis bahan *Tin*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 36 menit

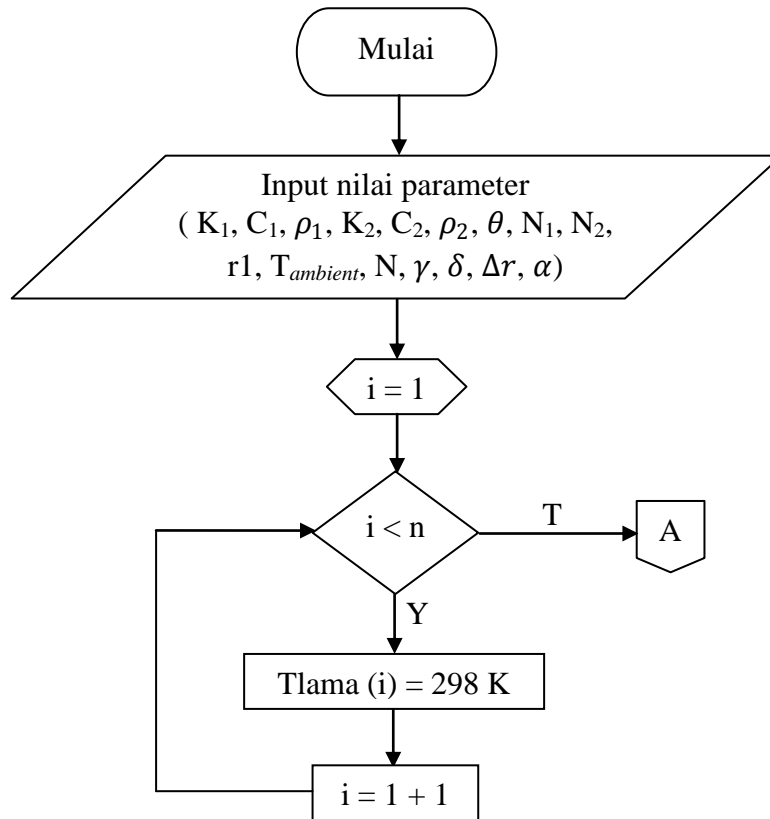


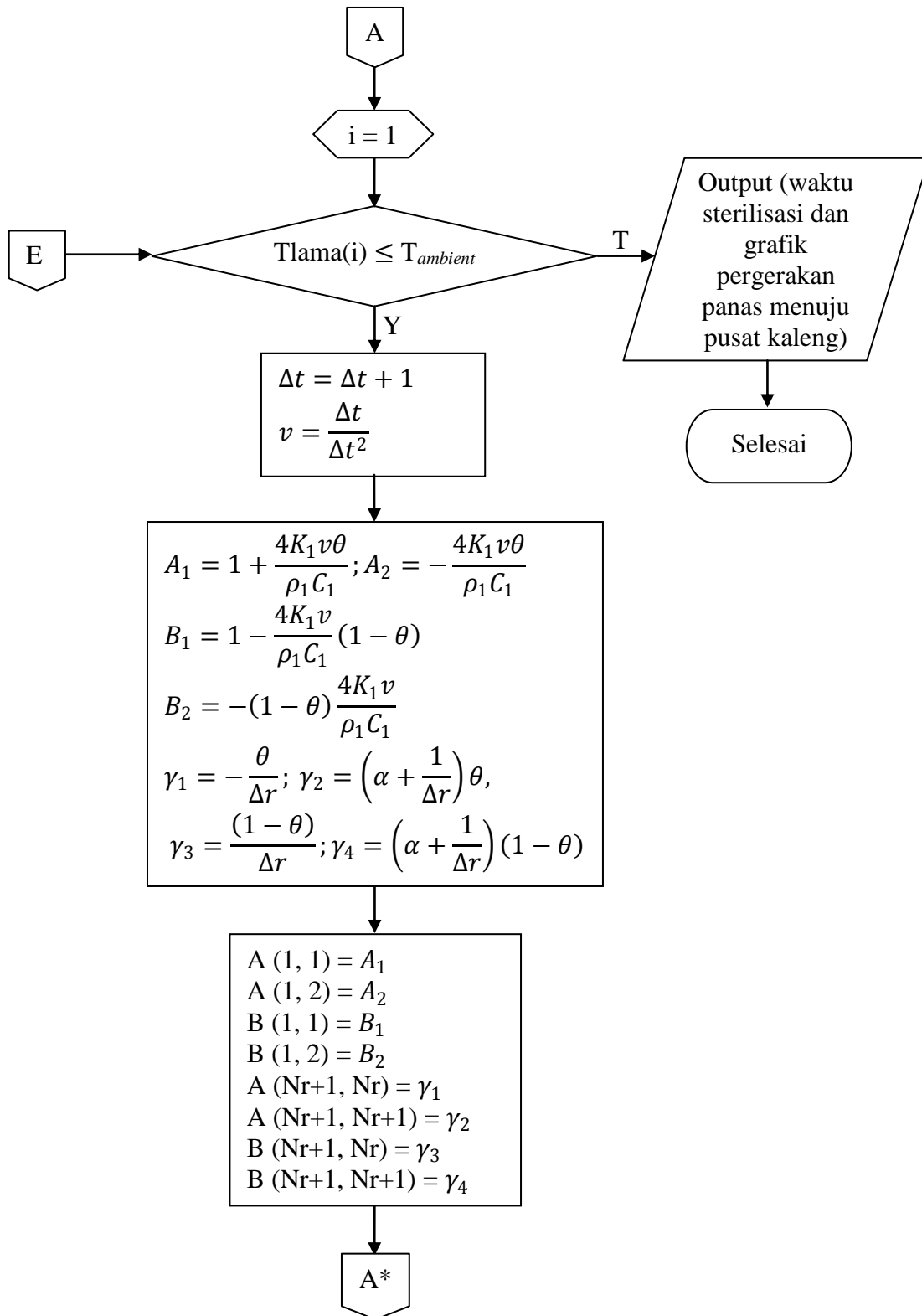
- Jenis bahan *Aluminium*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 35 menit

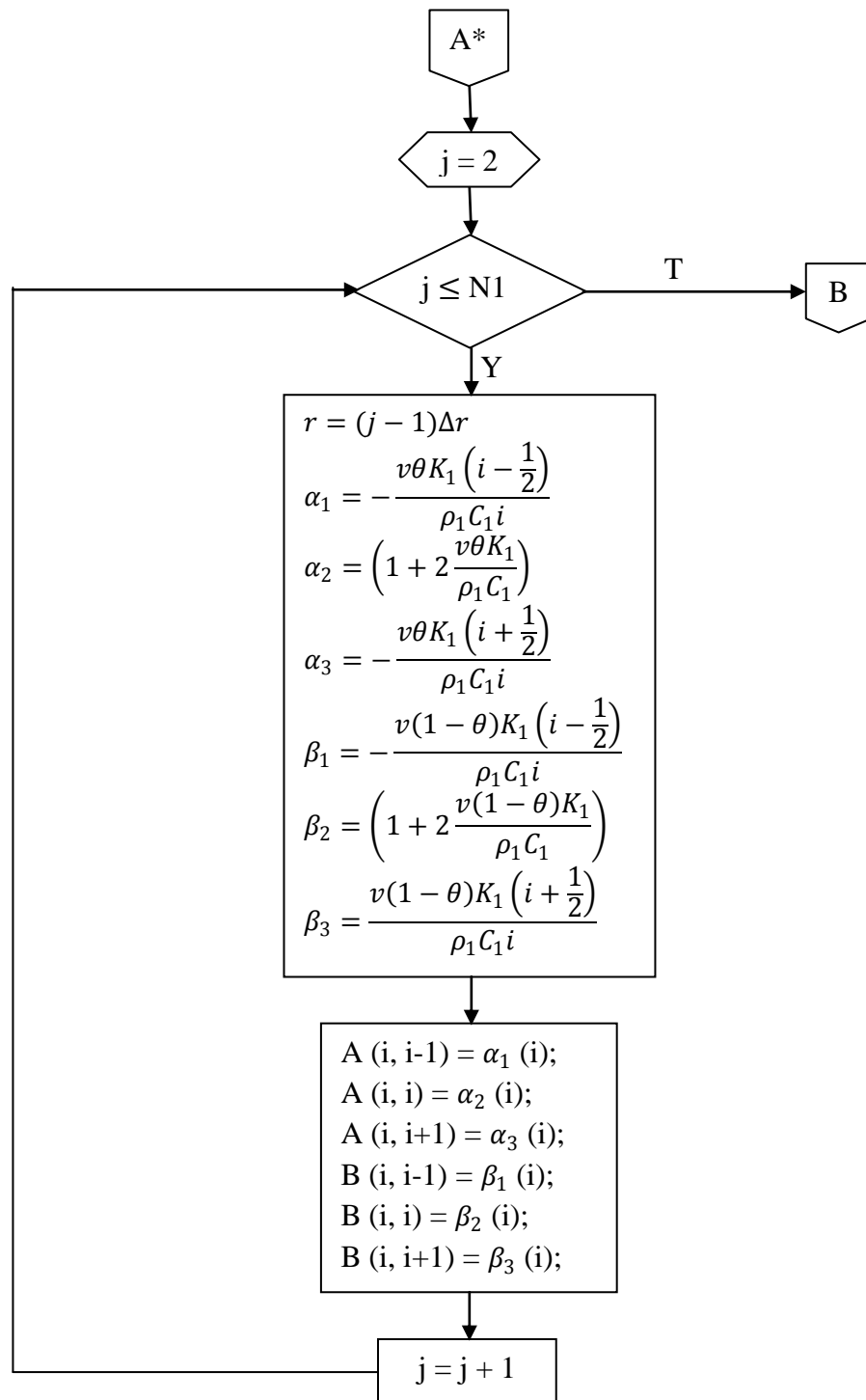


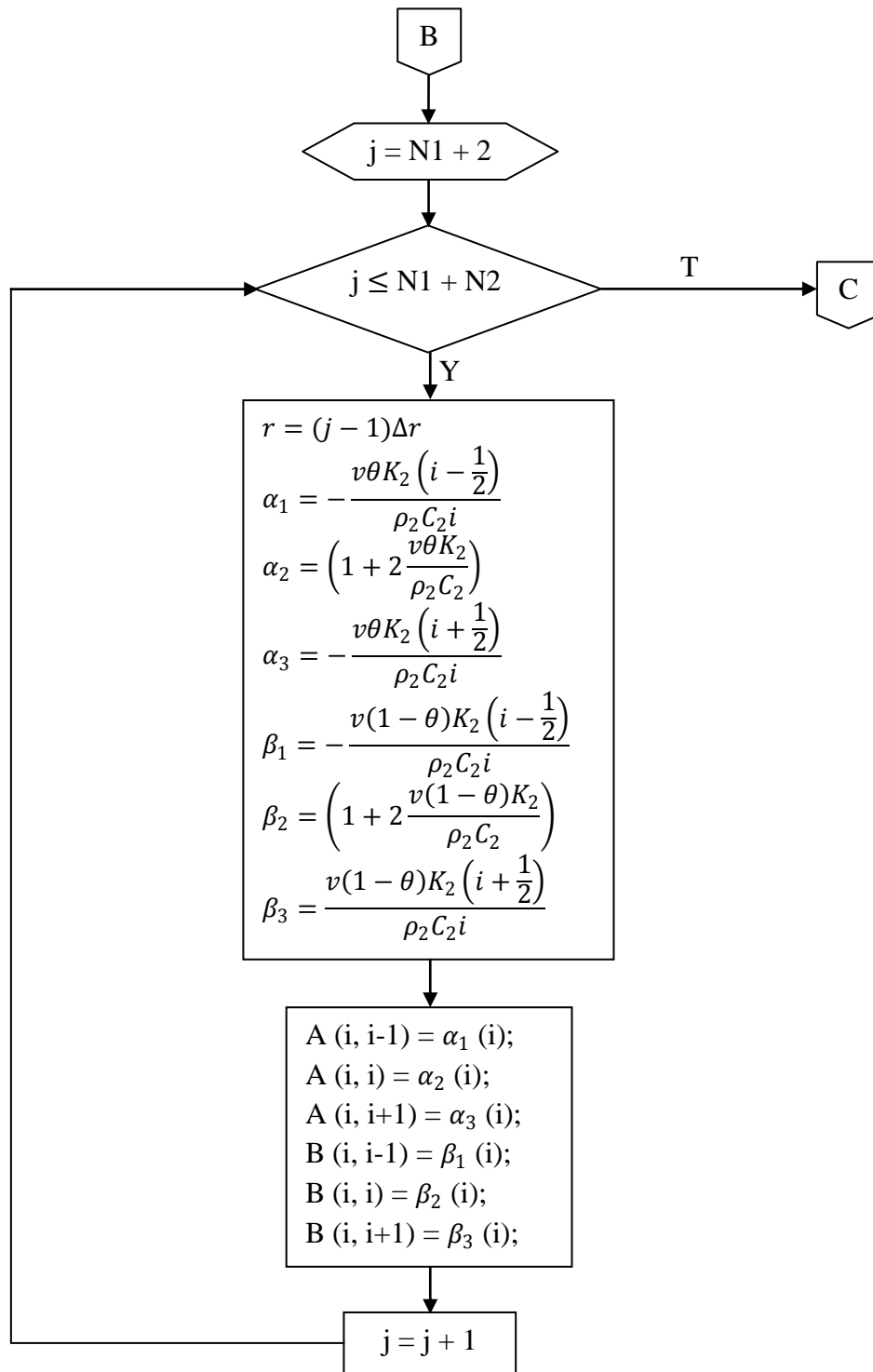
- Jenis bahan *Zinc*
- Waktu yang dibutuhkan agar temperatur yang diberikan merata, dari permukaan ke pusat kaleng yaitu 42 menit

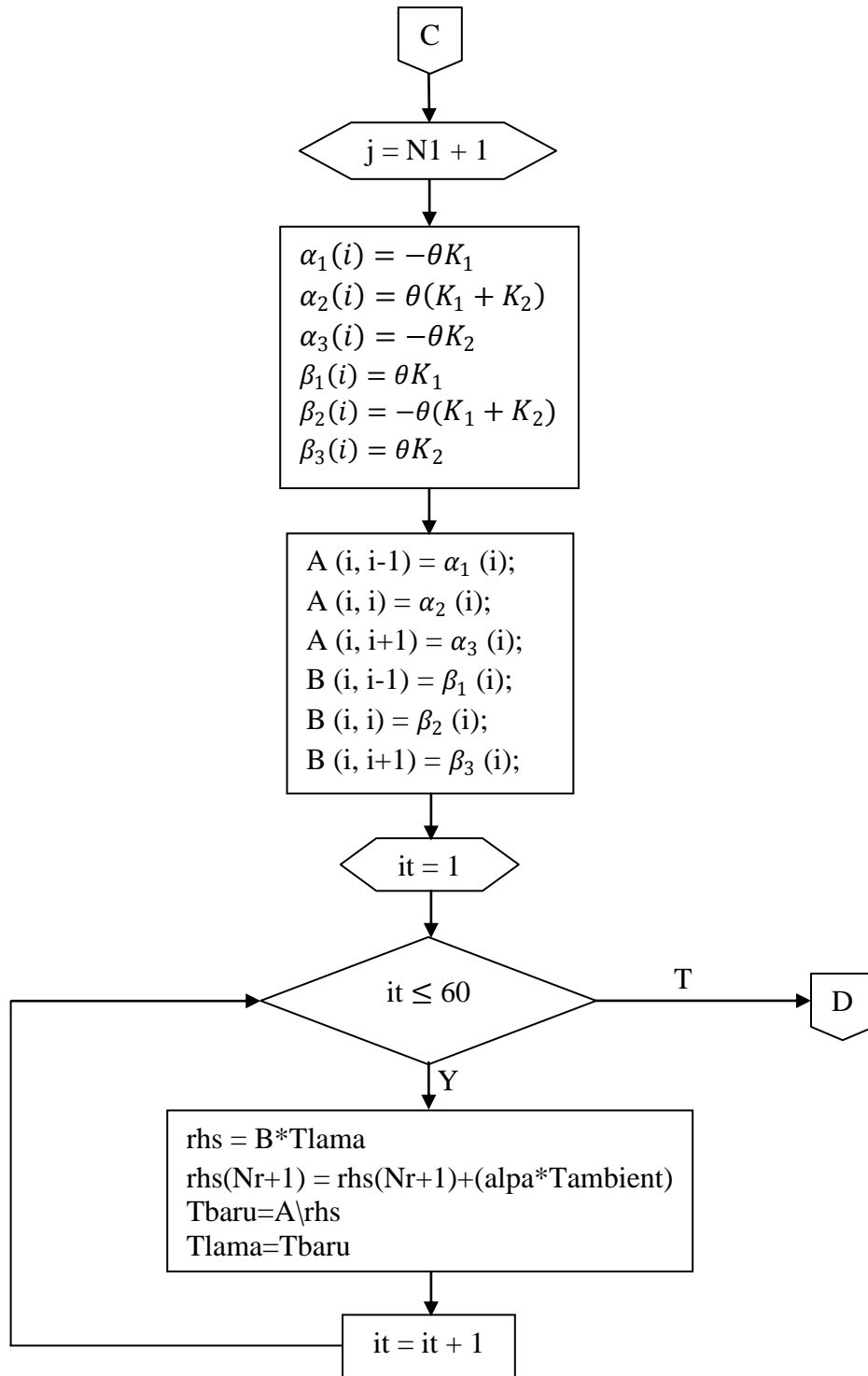
Lampiran B. *Flowchart* program simulasi perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalangan ikan Tuna

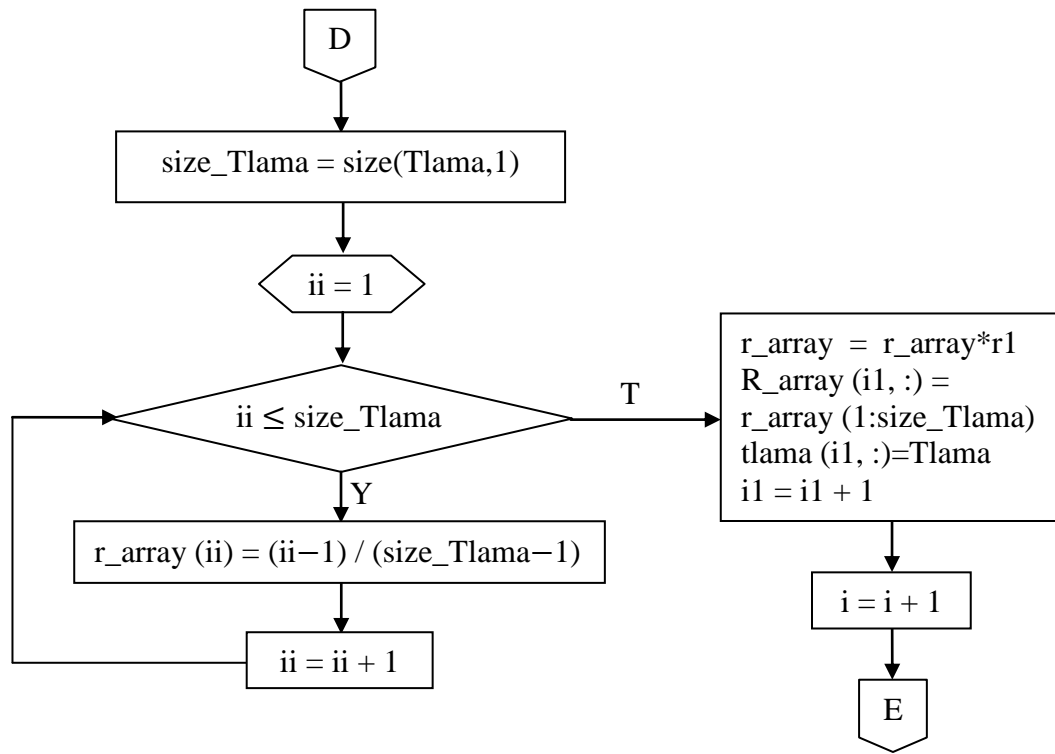












Lampiran C: *Script* program MATLAB yang digunakan untuk menyelesaikan simulasi model perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan Tuna

```

clc;
clear all;
close all;
ulang=0;
win1=figure(...
'units','points',...
'position',[150 100 700 450],...
'color',[.10 .6 .9],...
'menubar','none',...
'resize','off',...
'numbertitle','off',...
'name','SIMULASI MODEL PERPINDAHAN PANAS');
menu1=uimenu('parent',win1,...
'Label','Home',...
'Callback','GUI_Awal');
menu2=uimenu('parent',win1,...
'Label','Close',...
'Callback','close');

%=====
hp = uipanel('parent',win1,...
'Title','Output','FontSize',14,...
'units','points',...
'fontweight','bold',...
'fontname','comic sans Ms',...
'BackgroundColor',[.10 .6 .9],...
'Position',[300 5 390 310]);

%=====
judul=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[125 405 570 24],...
'style','Text',...
'string',' SIMULASI MODEL PERPINDAHAN PANAS ',...
'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
'fontname','ravie',...
'fontsize',20,...
'fontweight','bold');
judul=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...
'position',[130 370 550 28],...
'style','Text',...
'string',' PADA PROSES STERILISASI ',...
'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
'fontname','ravie',...
'fontsize',20,...
'fontweight','bold');
judul=icontrol('parent',win1,...
'units','points',...

```

```

        'position',[127 340 550 24],...
        'style','Text',...
        'string',' PENCELAHAN IKAN TUNA ',...
        'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
        'fontname','ravie',...
        'fontsize',20,...
        'fontweight','bold');
judul=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[275 0 1.5 320],...
    'style','Text',...
    'backgroundcolor',[.1 .1 .1]);
judul=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[0 320 700 2],...
    'style','Text',...
    'backgroundcolor',[.1 .1 .1]);
%=====
bahan=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[5 280 100 20],...
    'style','Text',...
    'string','Bahan Kaleng',...
    'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
    'fontname','comic sans ms',...
    'fontsize',14,...
    'fontweight','bold');
popup=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[150 283 100 20],...
    'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
    'fontweight','bold',...
    'style','popupmenu',...
    'string',{' -pilih- ', ' Tin ', ' Aluminium ', ' Zinc'},...
    'fontname','comic sans Ms',...
    'fontsize',14);
listbox1=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[10 225 240 50],...
    'backgroundcolor',[.8 .8 .9],...
    'style','listbox',...
    'string','',...
    'fontname','comic sans ms',...
    'fontweight','bold',...
    'fontsize',10);
jari2=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[5 195 125 20],...
    'style','Text',...
    'string','Jari-Jari Kaleng',...
    'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
    'fontname','comic sans ms',...

```

```

        'fontsize',14,...
        'fontweight','bold');
popup2=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[150 198 100 20],...
    'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
    'fontweight','bold',...
    'style','popupmenu',...
    'string',{' -pilih- ', ' 0,03 m ', ' 0,04 m ', ' 0,05 m ', ' 0,07 m
        '},...
    'fontname','comic sans Ms',...
    'fontsize',14);
suhu=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[5 165 95 20],...
    'style','Text',...
    'string','T_Penyeteril',...
    'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
    'fontname','comic sans ms',...
    'fontsize',14,...
    'fontweight','bold');
popup3=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[150 168 100 20],...
    'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
    'fontweight','bold',...
    'style','popupmenu',...
    'string',' -pilih- | 115,5 C | 121,1 C | 126,6 C ',...
    'fontname','comic sans Ms',...
    'fontsize',14);
output=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[10 105 230 20],...
    'style','Text',...
    'string','Output Waktu Sterilisasi (menit)',...
    'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
    'fontname','comic sans ms',...
    'fontsize',14,...
    'fontweight','bold');
edit3=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[80 45 100 35],...
    'style','edit',...
    'string','',...
    'backgroundcolor',[.10 .6 .9],...
    'fontweight','bold',...
    'fontname','comic sans ms',...
    'fontsize',20);
%=====
proses=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[15 5 50 20],...

```

```

        'style','Pushbutton',...
        'callback','proses_1',...
        'string','Run',...
        'fontname','comic sans ms',...
        'fontsize',14);
=====
reset=uicontrol('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[75 5 50 20],...
    'style','Pushbutton',...
    'callback','GUI_1',...
    'string','Reset',...
    'fontname','comic sans ms',...
    'fontsize',14);
=====
grafik1=axes('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[10 335 120 100],...
    'fontsize',20,...
    'color',[1 1 1]);
logo=imread('unejl.jpg');
    imshow(logo);
        set(win1,'CurrentAxes',grafik1);
grafik2=axes('parent',win1,...
    'units','points',...
    'position',[345 40 330 230],...
    'fontsize',10,...
    'color',[1 1 1]);
set(win1,'CurrentAxes',grafik2);
title('Distribusi Panas menuju pusat Kaleng');
grid on;
xlabel('Jari-Jari Kaleng (r)');
ylabel('Temperatur (C)');

%PROGRAM SIMULASI MODEL PERPINDAHAN PANAS
%PADA PROSES STERILISASI PENGALENGAN IKAN TUNA
=====
clc;
%K = Konduktivitas Thermal pada Kaleng (W/m K)
%C = Kalor Jenis pada Masing-Masing Lapisan (J/(Kg.K)):
%rho = Massa jenis pada Masing-Masing Lapisan (Kg/m^3):
%-----
pilihan=get(popup,'Value');i1=1;
switch pilihan
    case 2
        load('Ket1.mat');
        set(listbox1,'String',Ket1);
        K2 = 66.6; C2 = 227; rho2 = 7310;
    case 3
        load('Ket2.mat');
        set(listbox1,'String',Ket2);
        K2 = 117; C2 = 875; rho2 = 2270;

```



```

    case 4
        load('Ket4.mat');
        set(listbox1, 'String', Ket4);
        K2 = 116; C2 = 389; rho2 = 7140;
end;
K1 = 0.0019;
C1 = 13.59;
rho1 = 1180;
theta = 0.75;
%Jumlah Grid Points pada Masing-Masing Lapisan:
%-----
N1 = 499; %str2num(get(edit1, 'string'));
N2 = 1; %str2num(get(edit11, 'string'));
%Panjang Radius Poros (m)
%-----
r11 = get(popup2, 'Value');
switch r11
    case 2
        r1=0.03;
    case 3
        r1=0.04;
    case 4
        r1=0.05;
    case 5
        r1=0.07;
end
%Temperatur Lingkungan (K)
%-----
suhu=get(popup3, 'Value');
switch suhu
    case 2
        Tambient = 388.5; %Tambient = T_penyeteril
    case 3
        Tambient = 394.1;
    case 4
        Tambient = 399.6;
end;
Nr = N1 + N2; % Nr adalah jumlah grid point dalam semua lapisan
gamma = 1.67; % Konduktivitas Thermal pada Lapisan Film
delta = 1E-12;
deltar = r1/Nr;
alpha = gamma/(K2*delta);
deltat=0;
%Inisialisasi Matriks
%-----
A = zeros(Nr+1,Nr+1);
B = zeros(Nr+1,Nr+1);
Tlama = zeros(Nr+1,1);
Tbaru = zeros(Nr+1,1);
rhs = zeros(Nr+1,1);
%Syarat awal
%-----

```

```

for I = 1:Nr+1
    Tlama(I) = 298;
end
while Tlama(I) <= Tambient
    deltat = deltat+1;
    v = deltat/(deltar^2);
%Syarat Batas pada r = 0
%-----
A1 = 1 + 4*K1*v*theta/(C1*rho1);
A2 = -4*K1*v*theta/(C1*rho1);
B1 = 1-4*K1*v*(1 - theta)/(C1*rho1);
B2 = 4*K1*v*(1 - theta)/(C1*rho1);
%Syarat Batas pada Batas Luar
%-----
Gamma1 = -theta/deltar;
Gamma2 = (alpha+1/deltar)*theta;
Gamma3 = (1-theta)/deltar;
Gamma4 = -(alpha+1/deltar)*(1-theta);
A(1,1) = A1;
A(1,2) = A2;
B(1,1) = B1;
B(1,2) = B2;
A(Nr+1,Nr) = Gamma1;
A(Nr+1,Nr+1) = Gamma2;
B(Nr+1,Nr) = Gamma3;
B(Nr+1,Nr+1) = Gamma4;
%Lapisan 1
%-----
for i = 2:N1
    r=(i-1)*deltar;
    alfa1(i) = -v*theta*K1*(r-deltar/2)/(C1*rho1*r);
    alfa2(i) = 1+(2*v*theta*K1/C1/rho1);
    alfa3(i) = -v*theta*K1*(r+deltar/2)/(C1*rho1*r);
    beta1(i) = v*(1-theta)*K1*(r-deltar/2)/(C1*rho1*r);
    beta2(i) = 1-(2*v*(1-theta)*K1/C1/rho1);
    beta3(i) = v*(1-theta)*K1*(r+deltar/2)/(C1*rho1*r);
    A(i,i-1) = alfa1(i);
    A(i,i) = alfa2(i);
    A(i,i+1) = alfa3(i);
    B(i,i-1) = beta1(i);
    B(i,i) = beta2(i);
    B(i,i+1) = beta3(i);
end;
%Lapisan 2
%-----
for i = N1+2:N1+N2
    r = (i-1)*deltar;
    alfa1(i) = -v*theta*K2*(r-deltar/2)/(C2*rho2*r);
    alfa2(i) = 1+(2*v*theta*K2/C2/rho2);
    alfa3(i) = -v*theta*K2*(r+deltar/2)/(C2*rho2*r);
    beta1(i) = v*(1-theta)*K2*(r-deltar/2)/(C2*rho2*r);
    beta2(i) = 1-(2*v*(1-theta)*K2/C2/rho2);

```

```

    beta3(i) = v*(1-theta)*K2*(r+deltar/2)/(C2*rho2*r);
    A(i,i-1) = alfa1(i);
    A(i,i) = alfa2(i);
    A(i,i+1) = alfa3(i);
    B(i,i-1) = beta1(i);
    B(i,i) = beta2(i);
    B(i,i+1) =beta3(i);
end;
%Interface Pertama
%-----
i = N1+1;
    alfa1(i) = -theta*K1;
    alfa2(i) = theta*(K1+K2);
    alfa3(i) = -theta*K2;
    beta1(i) = (1-theta)*K1;
    beta2(i) = -(1-theta)*(K1+K2);
    beta3(i) = (1-theta)*K2;
    A(i,i-1) = alfa1(i);
    A(i,i) = alfa2(i);
    A(i,i+1) = alfa3(i);
    B(i,i-1) = beta1(i);
    B(i,i) = beta2(i);
    B(i,i+1) =beta3(i);
for it = 1:60
    rhs = B*Tlama;
    rhs(Nr+1) = rhs(Nr+1)+(alpa*Tambient);
    Tbaru=A\rhs;
    Tlama=Tbaru;
end
size_Tlama = size(Tlama,1);
for ii=1:size_Tlama,
    r_array(ii)=(ii-1)/(size_Tlama-1);
end;
r_array = r_array*r1;
R_array(i1,:)=r_array(1:size_Tlama);
tlama(i1,:)=Tlama;
i1=i1+1;
end;
end;
set(win1,'CurrentAxes',grafik2);
set(edit3,'string',deltat);
plot(R_array',tlama'-273);
title('Distribusi Panas menuju pusat Kaleng');
hold off;
xlabel('Jari-Jari Kaleng (r)');
ylabel('Temperatur (C)');

```